UNIVERSITE LAVAL
Québec, Canada

Le Groupe de Recherche en Automatisation
Appliquée à l'Industrie Minérale

Application du procédé d'optimisation hiérarchisée à l'ajustement de données industrielles du circuit de fragmentation du concentrateur des services TMG (Niobec)

Annexe III au rapport d'avancement 79/80 soumis à
CANMET (Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources)
dans le cadre des programmes de subventions de l'EMR

Tshitende Kasongo et Daniel Hodouin

Octobre 1979

MICROMEDIA

Département de mines et métallurgie

CONTRACT SERIAL NO. OST 78-00108
Req'n No. 23440-8-9067
CONTRACTOR: Laval University

145 p

Résumé

Les données industrielles recueillies lors d'une campagne de mesure au concentrateur des services TMG(Niobec) sont redondantes et entachées d'erreurs à cause des perturbations du circuit et à cause des erreurs dues à l'échantillonnage, au séchage, au tamisage et à l'imprécision d'instruments de mesure. Les erreurs dues aux mesures sont corrigées grâce à la méthode BILMAT qui procède par la minimisation de la somme des carrés pondérés des écarts (critère) entre les valeurs mesurées et les valeurs ajustées. Les variables sont regroupées en deux classes: les variables microscopiques (analyses granulométriques) et les variables macroscopiques (fractions massiques de pulpe, débits de minerai et d'eau). Le critère devient ainsi une somme de deux parties qui concernent les deux classes de variables. Le programme requiert que le circuit soit décrit en terme de réseaux de branches (écoulements) et de noeuds (points d'intersection des branches), ce qui permet d'écrire les équations de bilan sous une forme matricielle. Les débits relatifs de solide dans les branches par rapport au débit de la branche d'alimentation sont traités dans un algorithme superviseur. Les variables macroscopiques sont corrigées dans un algorithme qui utilise la méthode de Powell qui sert aussi dans l'algorithme superviseur. La partie microscopique du critère est une fonction quadratique à contraintes linéaires; elle se résoud par l'utilisation des multiplicateurs de Lagrange et les calculs y sont facilités par la partition matricielle de la matrice des contraintes. Le programme BILMAT permet l'insertion du module de calcul des efficacités des tamis DSM avec les valeurs ajustées par la méthode.

Table des matières

Résumé i

Table des matières ii

Liste des figures iv

Liste des tableaux vi

Nomenclature vii

Introduction 1

I. La collecte des données 4

I.a Le circuit 4

I.b La campagne de mesure 7

I.c Les analyses 7

II. L'algorithme BILMAT d'ajustement des données 11

II.a Les réseaux et les contraintes de bilan 11

1° Le réseau macroscopique du concentrateur des services TMG ... 11

2° Le réseau microscopique du circuit 16

3° Les réseaux du cas particulier de l'essai N° 1 20

II.b La redondance 22

II.c Le critère et sa décomposition 26

II.d Les principes de résolution 28

1° La recherche des débits de solide indépendants relatifs 28

2° L'algorithme superviseur 31

3° L'ajustement microscopique 32

4° Le bilan macroscopique 34

III. Exécution du programme BILMAT et résultats..... 36
III.a Estimation des valeurs initiales des débits relatifs de solide..... 36
III.b Estimation des valeurs initiales des variables macroscopiques pour l'algorithme du critère macroscopique..... 44
III.c Estimation des variances associées aux mesures..... 44
III.d Fonctionnement du programme BILMAT..... 47
III.e Résultats..... 52
III.f Efficacité des tamis DSM..... 59
1° Efficacité réelle..... 60
2° Efficacité corrigée..... 60
IV. Discussion..... 65
IV.a Les variables microscopiques..... 65
IV.b Les variables macroscopiques..... 70
IV.c Les classificateurs..... 71
V. Conclusions..... 73
Références..... 75
Annexe 1: Exemple d'utilisation du programme conversationnel BILMAT pour l'ajustement des données de l'essai N° 1..... 77
Annexe 2: Résultats des calculs de bilan matière..... 83
Annexe 3: Représentation graphique des distributions granulométriques de l'essai N° 2..... 114
Annexe 4: Enoncé du programme EFFICACITES et courbes d'efficacité des tamis DSM pour les cinq essais..... 124

Liste des figures

Figure 1 : Schéma du circuit de fragmentation du concentrateur des services TMG

Figure 2 : Réseau macroscopique du circuit de Niobec et sous-réseau d'eau

Figure 3 : Sous-réseau macroscopique de solide du circuit de Niobec

Figure 4 : Sous-réseau microscopique du circuit de Niobec

Figure 5 : Sous-réseau macroscopique de l'eau pour l'essai N° 1

Figure 6 : Sous-réseau macroscopique de solide pour l'essai N° 1

Figure 7 : Sous-réseau microscopique de l'essai N° 1

Figure 8 : Organigramme de l'algorithme BILMAT

Figure 9 : Estimation de la valeur du rapport de charge circulante K1 pour l'essai N° 2

Figure 10 : Estimation de la valeur du rapport de charge circulante K2/(1 + K1) pour l'essai N° 2

Figure 11 : Estimation de la valeur du rapport de charge circulante K3/K1 pour l'essai N° 2

Figure 12 : Organigramme du fonctionnement du programme BILMAT

Figure 13 : Organigramme de la minimisation du critère en trois parties

Figure 14 : Schéma du circuit de tamis DSM

Figure 15 : Couplage entre le partage de l'eau et soutirage des fines aux tamis DSM primaires et secondaires comparé au couplage hypothétique à 100%

Figure 16 : Influence du débit de solide à l'alimentation du circuit sur le rapport de charge circulante au broyeur et sur la production des fines

Figure 17 : Couplage entre les pourcentages des fines à l'alimentation du circuit et dans le produit du circuit

Figure 18 à 26 : Courbes de distribution granulométrique dans les branches du circuit pour l'essai no 2

Figure 27 à 36 : Courbes d'efficacité des tamis DSM

Liste des tableaux

Tableau I : Valeurs mesurées des débits de minerai à l'alimentation du circuit et des fractions massiques de pulpe dans les branches

Tableau II : Estimations initiales des valeurs de rapport de charges circulantes pour les branches 4, 8 et 10 en fonction des variables microscopiques de l'essai N° 2

Tableau III : Estimation des débits relatifs de solide dans les branches

Tableau IV : Mesures des fractions massiques des pulpes, écarts-types relatifs associés et facteurs de pondération associés aux mesures pour toutes les branches et pour les cinq essais

Tableau V : Résultats récapitulés

Tableau VI : Partages de l'eau aux tamis DSM

Tableau VII : Variables macroscopiques récapitulés

Tableau VIII: Pourcentages passant le tamis de 400 mesh dans les branches

Tableau IX : Résidus sur les analyses granulométriques

Tableau X : Partage de l'eau et soutirage des fines aux deux étages de tamis DSM

Nomenclature

a : matrice colonne des mesures des variables microscopiques

b : matrice colonne des mesures des variables macroscopiques

B : matrice des contraintes des variables microscopiques

CPi, CSi : efficacités réelles des tamis DSM primaires et secondaires pour l'intervalle granulométrique i

CCPi, CCSi : efficacités corrigées des tamis DSM primaires et secondaires pour l'intervalle granulométrique i

d, d* : matrice colonne des débits relatifs de solide dans les branches et matrice colonne des estimés

e : nombre de premiers éléments nuls de la matrice colonne d'une distribution granulométrique

g : matrice colonne des contraintes sur les variables microscopiques

i : indice des intervalles granulométriques

j : indice des branches du circuit

J, Jmac, Jmic : somme des moindres carrés pour toutes les données mesurées, pour les données macroscopiques et pour les données microscopiques

Hmac, Hmic : système d'équations de contraintes pour les variables macroscopiques et pour les variables microscopiques

K1, K2, K3 : rapport de charge circulante pour les branches 10, 8 et 4 du circuit

L : Lagrangien pour les variables microscopiques

m, m_s, m_w : nombre des noeuds du réseau complet, nombre de noeuds où ne convergent que les branches de solide et les branches d'eau

M_s, M_w : matrices des sous-réseaux de solide et de l'eau

n : nombre d'intervalles granulométriques

p, p_s, p_w : nombre total des branches du réseau, nombre de branches de solide et de branches d'eau

p_f : facteur de pondération associée à la variable d'indice f

Q : matrice colonne de débits de solide dans les branches

f : indice d'une variable dans l'ensemble global de variables mesurées

r_d, r_s, r_w, r_{mac} : nombre de variables indépendantes pour les équations de contrainte

F : nombre total global des variables mesurées

RF : partage d'eau aux tamis DSM

SP, SS : soutirage des fines aux tamis DSM primaires et secondaires

T_f, $\hat{T}_f$: matrice colonne des F variables mesurées et leurs estimés

V, V_{mac}, V_{mic} : matrice des covariances pour toutes les données mesurées, pour les données macroscopiques et pour les données microscopiques

W : matrice colonne des débits d'eau dans les branches

x, x^*, x_m, x_u : variables microscopiques, leurs estimés, sous-ensemble mesuré et sous-ensemble non mesuré

y : matrice colonne des variables macroscopiques

γ : matrice colonne des multiplicateurs de Lagrange

σ_f^2 : variance associée à la mesure de la variable d'indice f

T : transposition d'une matrice

{ } : indication d'une référence

( ) : indication d'une formule

Introduction

La construction du simulateur du circuit de fragmentation des services TMG (Niobec) s'inscrit dans un projet dont les principaux objectifs sont l'amélioration de la compréhension du procédé, la modélisation de différents appareils du circuit et éventuellement l'optimisation de son fonctionnement.

Les modèles mathématiques de simulation de circuit de fragmentation requièrent que les données industrielles soient cohérentes du point de vue du bilan matière. Cinq régimes, différents par le débit de pulpe à l'alimentation du broyeur à barres du circuit de services TMG, ont été observés dans une campagne de mesure effectuée par les membres du GRAAIM de l'Université Laval au printemps 1978. Les données industrielles recueillies lors de cette campagne (analyses granulométriques, fractions massiques de pulpe et débits de minerai) sont redondantes et entachées d'erreurs de mesures; elles sont donc incohérentes du point de vue des équations de conservation. A titre d'exemple, la granulométrie de l'alimentation des classificateurs ne coïncide que très rarement avec le produit reconstitué à partir des tranches classifiées.

De meilleures mesures de variables peuvent être obtenues en augmentant le nombre d'observations mais cette pratique demanderait un effort d'analyse considérable et ne serait possible que si le circuit de traitement restait longtemps à l'équilibre.

Il existe cependant diverses techniques d'ajustement de données et l'approche habituelle consiste à corriger les valeurs mesurées en s'arrangeant pour qu'aux mesures plus précises correspondent des corrections plus faibles et en garantissant la cohérence des données après correction. La méthode BILMAT effectue des ajustements dans le sens de la minimisation de la somme des carrés pondérés des écarts entre valeurs mesurées et valeurs corrigées (critère) sous la contrainte des équations de bilan. Cette technique requiert que les variables soient regroupées en deux classes: variables microscopiques (analyses granulométriques) et variables macroscopiques (fractions massiques de pulpe, débit de minerai et débits relatifs de solide dans les écoulements du circuit par rapport au débit solide à l'alimentation). Pour chacune de ces classes, le circuit peut être décrit en terme de réseaux de branches (écoulements) et des noeuds (points de rencontre des branches) et ceci permet la formulation des contraintes qui sont les équations de bilan, sous forme matricielle.

En traitant à part les débits relatifs de solide qui sont des variables communes aux équations de bilan pour les deux classes de variables, cette formulation permet de transformer le problème en une minimisation en trois parties:

- l'algorithme d'ajustement des variables microscopiques qui utilise la méthode des multiplicateurs de Lagrange pour minimiser une fonction quadratique à contraintes rendues linéaires. L'utilisation de la partition matricielle facilite les inversions des matrices et permet que plusieurs variables soient traitées à la fois.

- l'algorithme d'ajustement des variables macroscopiques.
  Un nombre de variables indépendantes, nécessaires pour déterminer toutes les autres est ajusté dans cet algorithme itératif qui utilise la méthode de gradients conjugués de Powell.
- l'algorithme superviseur qui ajuste des débits solide relatifs indépendants par la méthode de Powell. Cet algorithme effectue la minimisation de la somme des valeurs minimums obtenues pour les deux parties du critère évaluées séparément.

L'algorithme BILMAT permet l'insertion d'un programme de calcul des efficacités des deux étages de tamis DSM avec les valeurs ajustées par la méthode. Nous expliquons aussi dans ce travail comment nous évaluons le soutirage des fines dans la surverse des tamis.

I. La collecte des données

Ia. Le circuit

Le concentrateur des services TMG (anciennement NIOBEC) est situé à Saint-Honoré près de Chicoutimi. Il enrichit un minerai de pyrochlore (Nb_2O_5). Avec une production de 1500 tonnes par jour, les services TMG sont le seul producteur de concentré de Niobium en Amérique du Nord {1, 2}.

Lors de la campagne de mesure effectuée du 17 au 21 avril 1978 par des membres du GRAAIM de l'Université Laval, la configuration du circuit de l'usine était schématisée par la figure 1. Dans ce concentrateur, le tout venant extrait de la mine souterraine alimente par courroie transporteuse une trémie de 700 tonnes dont le contenu alimente deux trémies de 1400 tonnes. Le minerai est ensuite criblé sur un tamis vibrant. Le produit refusé au crible alimente un concasseur à cône de type C.A.C., sa décharge dont les dimensions de particules sont inférieures à 15 mm est mélangée au minerai passant le crible et constitue l'alimentation du broyeur à barres de type Hardinge opérant en circuit ouvert. La décharge de ce broyeur alimente le deuxième circuit de broyage qui est fermé par des classificateurs. De la bâche de décharge des produits des deux broyeurs, la pulpe est pompée dans une cuve qui la distribue sur le premier étage de six tamis DSM de 16 mesh dont la dimension d'équicoupure se situe habituellement aux environs de 500 micromètres. La sousverse du premier étage

alimente le second étage de six tamis DSM de 28 mesh dont la dimension d'équicoupure se situe habituellement aux environs de 300 micromètres. La sousverse du second étage de tamis constitue le produit final du circuit de comminution, elle est deschlammée par la suite dans des hydrocyclones avant d'être alimentée à l'étape de la flottation. Les tamis DSM sont utilisés dans ce circuit à cause de leur caractéristique d'opérer la classification suivant les dimensions des particules solides et non suivant leur densité. Ils sont habituellement utilisés pour classifier des minerais denses et friables qui sont libérés dans des circuits fermés de broyage où le surbroyage doit être évité, comme c'est le cas pour le minerai de Niobec {3}. Les surverses combinées des deux étages de tamis sont épaissies grâce à un classificateur à spirale qui permet aussi de soustraire du broyage les particules fines entraînées par les grosses dans les surverses des tamis. La fraction massique (densité) des grenues du classificateur à vis qui alimentent le broyeur à boulets se situe aux environs de 70% solide. Ce broyeur de type Hardinge est à décharge par grille, celle-ci permet de diminuer le temps de séjour du minerai dans le broyeur et par conséquent, elle permet d'avoir moins de surbroyage de ce minerai friable.

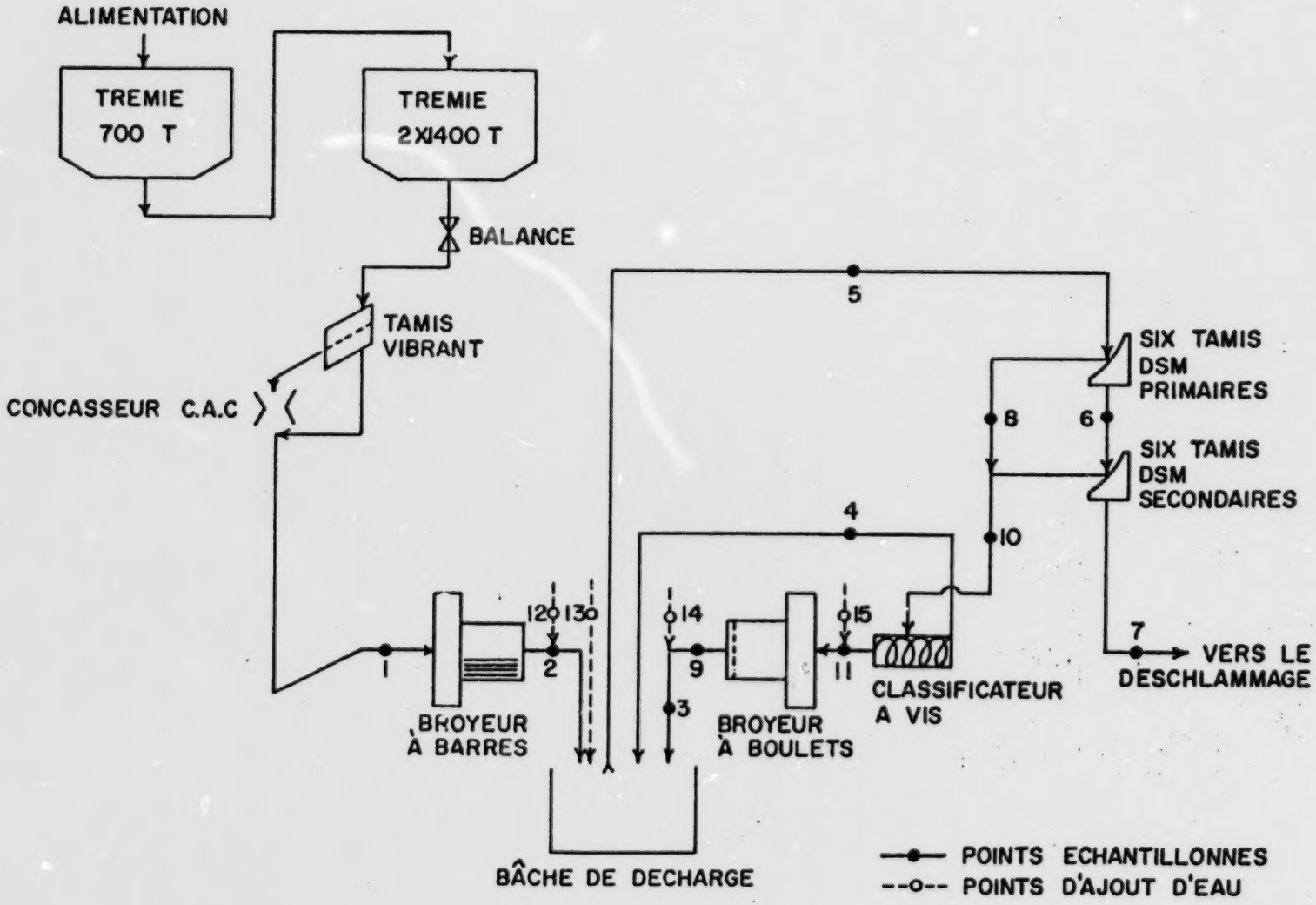


Figure 1 : Schéma du circuit de fragmentation du concentrateur des services TMG (Niobec).

I.b. La campagne de mesure

La portion du circuit examinée lors de la campagne de mesure se situe entre l'alimentation du broyeur à barres et la sous-verse du second étage de tamis DSM. Cinq états du circuit ont été observés et la principale variable qui est modifiée d'un régime à l'autre est le débit du minerai à l'alimentation du broyeur à barres. La stabilité du circuit a été contrôlée en observant les valeurs de débits fournies par la balance installée sur la courroie d'alimentation du concasseur. Lorsque cette stabilité du circuit est satisfaisante, les différents points indiqués sur la figure 1 sont échantillonnés pendant toute la durée de l'essai (environ une heure). Après chaque essai, les pulpes recueillies par petits lots fournissent d'importants échantillons composites de pulpe qui sont ainsi représentatifs du circuit. En étalant l'échantillonnage sur toute la durée de l'essai, on minimise l'influence des perturbations à court terme (variations de débit, changement de dureté du minerai ...).

I.c. Les analyses

Le débit du minerai humide à l'alimentation du circuit s'obtient en divisant la différence entre les poids cumulés lus au totalisateur digital au début et à la fin de l'expérience par la durée de l'essai. L'humidité de cette alimentation n'a pas été mesurée; elle est en moyenne de 3% selon les renseignements fournis par le personnel de l'usine.

Les pulpes collectées aux différents points du circuit ont été encore échantillonnées grâce aux diviseurs des pulpes. Ces appareils permettent d'obtenir des fractions plus faibles de minerai qui restent représentatives du circuit. Après séchage et filtration des échantillons, les fractions massiques de pulpe sont déterminées en divisant les poids du minerai sec par les poids correspondant avant filtration et séchage (tableau I). Les fractions sèches ont été tamisées pour en obtenir les analyses granulométriques.

Dans la méthode BILMAT, les variables du circuit sont scindées en deux groupes {5, 6, 7}.

1°) les variables macroscopiques: ce sont, pour le cas de nos essais, les fractions massiques des pulpes, les débits de minerai et de l'eau. Une variable macroscopique associée à la branche j du circuit avec $j = 1 \ldots p$, où p indique le nombre de points échantillonnés, est désignée par y_j.

2°) les variables microscopiques: ce sont pour le cas de nos essais, les distributions granulométriques de solides. Désignons par x_{ij} la fraction retenue dans l'intervalle granulométrique i pour n intervalles observés et pour tout point j du circuit. Les valeurs des variables microscopiques observées sont regroupées dans l'annexe 2 (essais 1 à 5) et les dimensions des tamis correspondant aux différents intervalles granulométriques sont en progression géométrique de raison $\sqrt{2}$ représentés par la série suivante:

Dimension des tamis Tyler utilisés	
Mesh	Micromètres
8	2360
10	1700
14	1180
20	850
28	600
35	425
48	300
65	212
100	150
150	106
200	74
270	53
400	38

Tableau I : Valeurs mesurées des débits de minerai à l'alimentation du circuit et des fractions massiques de pulpe dans les branches.

	MESURES											
NO	DEBIT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	72.70	0.97	0.7638	0.6178	0.1450	0.3736	0.2889	0.2211	0.5009	0.6283	——	0.5658
2.	70.74	0.97	0.7578	0.4660	0.0887	0.3048	0.2544	0.2250	0.4674	0.6429	0.4496	0.7360
3.	72.35	0.97	0.7524	0.4572	0.0668	0.3234	0.2491	0.2059	0.5654	0.6682	0.5362	0.7304
4.	80.77	0.97	0.7677	0.5436	0.1005	0.3820	0.3312	0.2689	0.6142	0.6990	0.5835	0.7855
5.	60.36	0.97	0.7295	0.3305	0.0481	0.2294	0.2015	0.1840	0.5114	0.6215	0.4410	0.7962

Les numéros renvoient aux numéros des branches de la figure 1.

Dans l'essai 1, il n'y a pas de mesure de densité pour la branche 10; les débits sont donnés en tonnes par heure.

II. L'algorithme BILMAT d'ajustement des données

II.a. Les réseaux et les contraintes de bilan

L'application de l'algorithme BILMAT requiert que le circuit de la figure 1 soit décrit en terme de réseau de noeuds et de branches, ceci permet la formulation du circuit par des équations de conservation des flux autour des noeuds. Une branche correspond à un écoulement de pulpe dans le circuit (décharges des broyeurs, alimentation des broyeurs...) et un noeud est un point de rencontre de plusieurs branches (le broyeur à boulets, la bâche de décharge des broyeurs...). En appliquant cette description aux deux classes de variables précédemment décrites, le réseau macroscopique qui ne s'applique que sur les variables macroscopiques diffère du réseau microscopique, car il contient des noeuds autour desquels il y a conservation de variables macroscopiques et non de variables microscopiques. A titre d'exemple, un broyeur assure la conservation de débit de minerai, il est un noeud du réseau macroscopique mais il correspond à une interruption du réseau microscopique, car il n'assure pas la conservation des fractions granumétriques de solide {5, 6} en raison du broyage qui y a lieu.

1° Le réseau macroscopique du concentrateur des service TMG

Le réseau macroscopique est le plus large réseau du circuit

car il englobe toutes les branches et tous les noeuds tels qu'il y a conservation des variables macroscopiques en chaque noeud (figure 2).

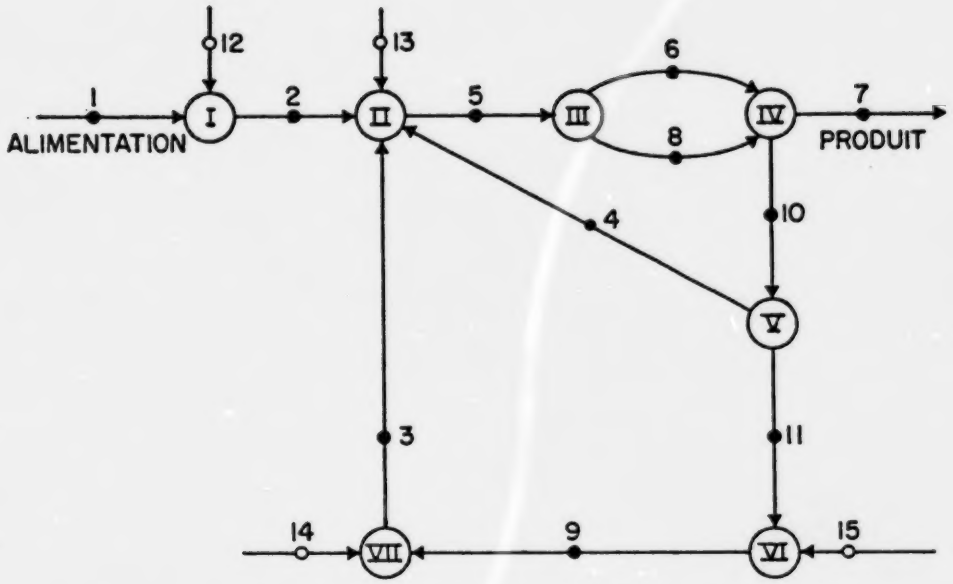


Figure 2: Réseau macroscopique du circuit de Niobec et sous-réseau d'eau.

I : broyeur à barres

II : bâche de décharge des broyeurs

III: tamis DSM primaires

IV : tamis DSM secondaires combinés au point d'addition des surverses des deux étages des tamis, la surverse secondaire n'étant pas échantillonnée

V : classificateur à vis

VI : broyeur à boulets

VII: point d'ajout d'eau à la décharge du broyeur à boulets

Le sous-réseau d'eau se décrit encore par:

$p = 15$	$m = 7$	$(p - p_s)$ variables
$p_w = 4$	$m_w = 0$	$(m - m_s)$ équations
$p_s = 0$	$m_s = 0$	

Soit p le nombre de branches du réseau complet de la figure 2; ce nombre comprend p_w branches d'eau, p_s branches de solide et $p - p_w - p_s$ branches de pulpe.

Soit m le nombre de noeuds; ce nombre comprend m_w noeuds pour les branches d'eau, m_s noeuds pour les branches de solide et $m - m_w - m_s$ noeuds pour les branches de pulpe.

De cette description, deux sous-réseaux macroscopiques sont définis, l'un pour les solides (figure 3) avec $p - p_w$ branches et $m - m_w$ noeuds, l'autre pour l'eau avec $p - p_s$ branches et $m - m_s$ noeuds, ce dernier sous-réseau correspond, dans ce cas, à celui de la figure 2 où il n'y aurait que de l'eau dans les branches.

Ainsi décrits, ces sous-réseaux servent à écrire les contraintes du bilan de façon matricielle. Dans la matrice de représentation de réseau, les lignes représentent les noeuds et les colonnes représentent les branches. Désignons par M_s et M_w les matrices de représentation des sous-réseaux de solide et de l'eau. Les éléments de ces matrices ont des valeurs 0 s'il n'y a pas de contact entre une branche et un noeud, +1 s'il y a contact et que le flux de pulpe vers le noeud est entrant, -1 si le flux est sortant {4}. Un exemple de telles matrices est donné par la matrice M_s du sous-réseau de solide de la figure 3.

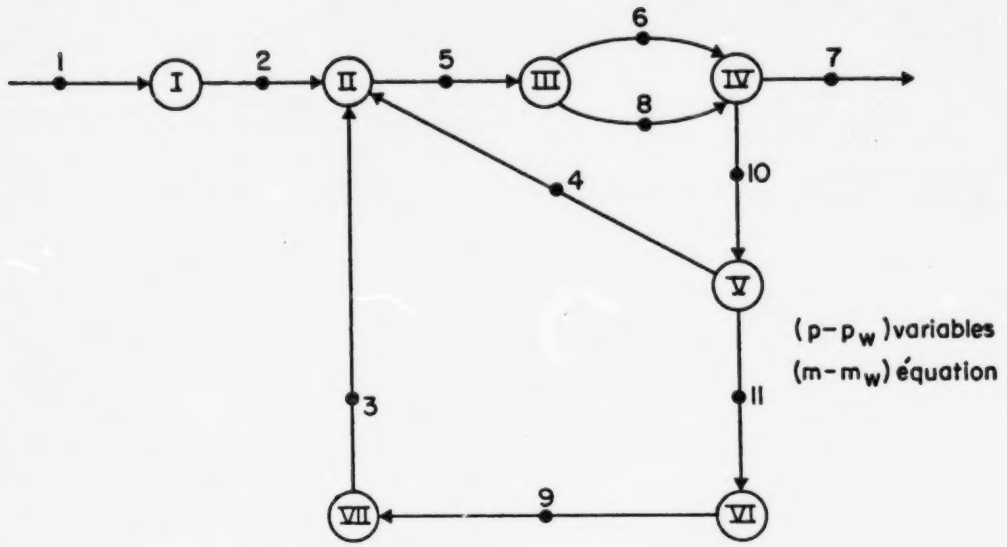


Figure 3 : Sous-réseau macroscopique de solide du circuit de Niobec.

La matrice M_s de représentation du sous-réseau de la figure 3 s'écrit:

branches

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
noeuds	I	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	-1	1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	1	-1	0	-1	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	1	-1	1	0	-1	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
	VI	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	1
	VII	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0

Il est alors plus facile de formuler les contraintes du bilan qui expriment la conservation de solide et de l'eau autour de chaque noeud des sous-réseaux.

Soient Q et W les matrices colonnes des débits de solide et d'eau dans les sous-réseaux respectifs. Les contraintes du bilan s'écrivent

pour les solides: $M_s.Q = 0$ (1)

$$\text{avec } Q = \begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_{p-p_w} \end{bmatrix}$$

c'est un système de $(m-m_w)$ équations car il y a $(m-m_w)$ noeuds et $(p-p_w)$ inconnues parce qu'il y a $(p-p_w)$ branches {5};

pour l'eau: $M_w.W = 0$ (2)

$$\text{avec } W = \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_{p-p_s} \end{bmatrix}$$

c'est un système de $(m-m_s)$ équations car il y a $(m-m_s)$ noeuds et $(p-p_s)$ inconnues parce qu'il y a $(p-p_s)$ branches {5}.

2° Le réseau microscopique du circuit

Toujours dans le but d'exprimer les contraintes du bilan microscopique sous forme matricielle, le réseau microscopique ne comprendra que des noeuds du circuit qui assurent la conservation des variables

microscopiques, en l'occurrence ici la conservation des distributions granulométriques des particules solides. Les branches adjacentes aux broyeurs resteront donc ouvertes dans ce réseau. Si on dispose de plusieurs types de variables microscopiques, par exemple si les granulométries sont analysées par plusieurs méthodes sur des sous-réseaux différents, il faudrait définir plusieurs sous-réseaux microscopiques, mais comme seule la méthode de tamisage a été utilisée, nous n'avons qu'un seul réseau (figure 4).

Soient:
- j l'indice des branches du réseau $j = 1...p$
- n le nombre d'intervalles granulométriques où chaque intervalle est désigné par l'indice i avec $i = 1...n$
- x_{ij} la fraction granulométrique retenue sur le tamis i dans la branche j
- Q_j le débit de minerai solide dans la branche j
- d_j le débit relatif de solide de la branche j; si celui de la branche 1 (Q_1) est pris comme référence de débit, cette variable s'écrit

$$d_j = \frac{Q_j}{Q_1} \qquad (3)$$

- d la matrice colonne des débits relatifs de solide dans les branches
- M la matrice du réseau microscopique

Les contraintes du bilan microscopique s'écrivent:

$$M\ x_i.d - 0$$

x_i est la matrice diagonale des fractions granulométriques retenues sur le tamis i.

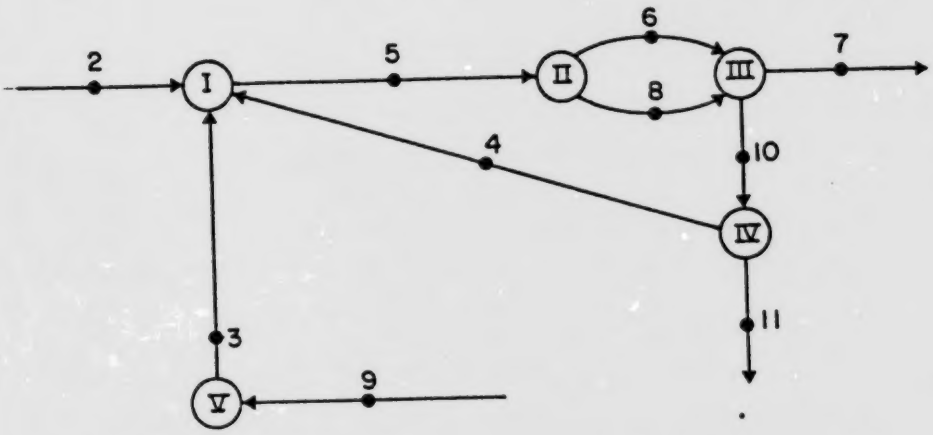


Figure 4 : Sous-réseau microscopique du circuit de Niobec.

I : bâche de décharge des broyeurs

II : tamis DSM primaires

III : tamis DSM secondaires combinés au point d'addition des surverses des deux étages des tamis, la surverse des tamis secondaires n'étant pas échantillonnée

IV : classificateur à vis

V : point d'ajout d'eau à la décharge du broyeur à boulets

$p = 10$ nombre de branches du réseau

$m = 5$ nombre de noeuds du réseau

$n = 14$ nombre d'intervalles granulométriques pour chaque branche

Lors du tamisage d'un échantillon correspondant à toute branche j du réseau, la somme des fractions de solide retenues dans tous les intervalles granulométriques utilisés est égale à l'unité, cette relation s'écrit:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad \text{pour toute branche } j \qquad (5)$$

Pour assurer l'indépendance linéaire entre les équations (4) et (5), l'indice i de l'équation 4 doit varier entre 1 et (n-1) {5, 6}. Pour le sous-réseau microscopique à p branches, m noeuds et pour lequel le nombre d'intervalles granulométriques utilisés est de n, nous obtenons un système à m(n-1) équations de type (4)

p équations de type (5)

pn variables granulométriques mesurées.

3° Les réseaux des cas particuliers de l'essai N° 1

Le manque de mesure concernant l'alimentation du classificateur à vis (branche 10) a nécessité la description des figures 5 et 6 pour les sous-réseaux macroscopiques et de la figure 7 pour le réseau microscopique du circuit. A l'exception du noeud IV qui comprend le second étage des tamis DSM combinés aux surverses des deux étages et au classificateur à vis, les autres éléments du circuit restent identiques, la branche 10, dans ce cas, constitue l'ajout d'eau au broyeur à boulets.

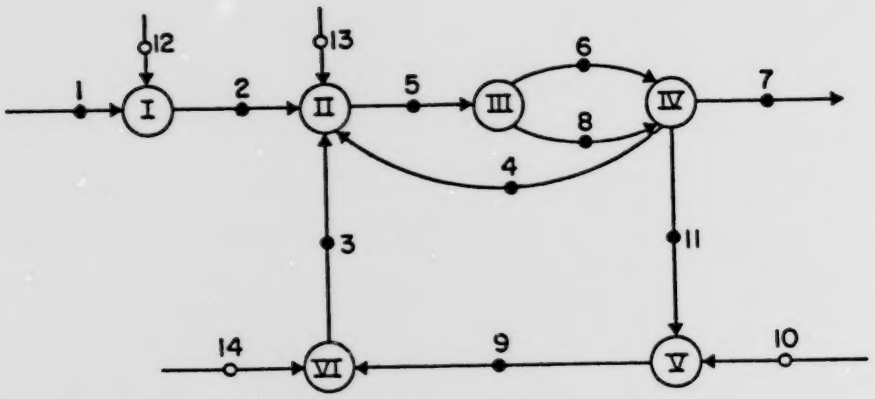


Figure 5 : Sous-réseau macroscopique de l'eau pour l'essai N° 1.

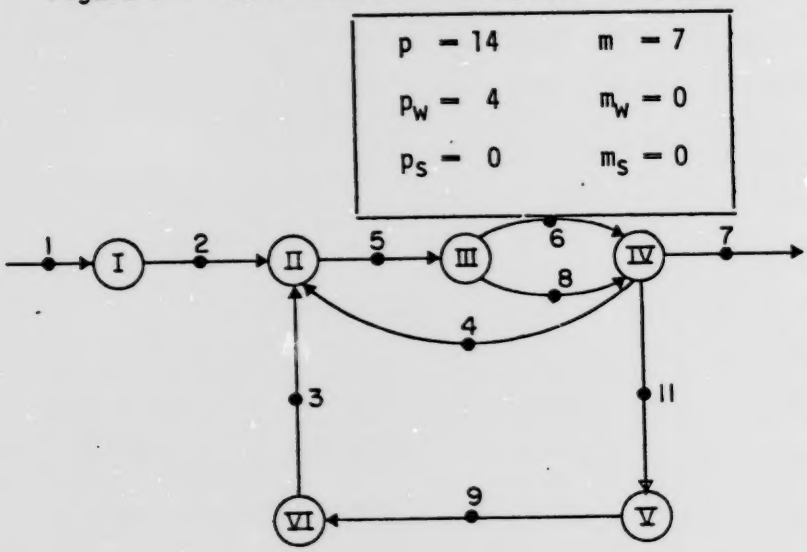


Figure 6 : Sous-réseau macroscopique de solide pour l'essai N° 1.

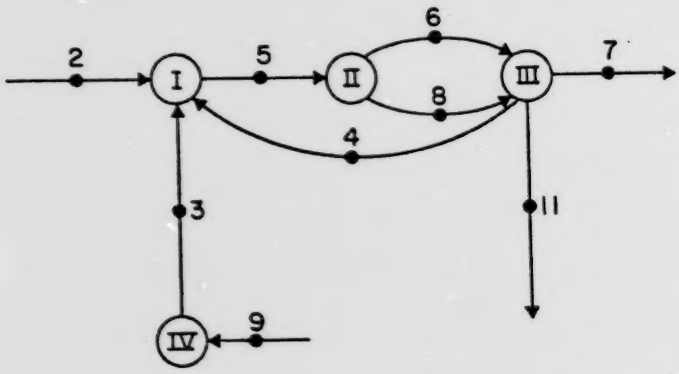


Figure 7 : Sous-réseau microscopique de l'essai N° 1.

II. La redondance

La représentation du circuit sous forme de réseau nous a permis d'écrire les contraintes de bilan sous forme matricielle. Ces équations peuvent encore s'écrire sous la forme générale suivante:

pour les contraintes macroscopiques (1) et (2):

$$H_{mac}\ (Q_1,\ d,\ W) = 0 \qquad (6)$$

pour les contraintes microscopiques (4) et (5):

$$H_{mic}\ (x,\ d) = 0 \qquad (7)$$

où x désigne l'ensemble de variables microscopiques.

Désignons par a l'ensemble des valeurs des mesures faites sur x.

L'ensemble des variables macroscopiques mesurées y peut être exprimé comme une fonction du débit de référence Q_1, des débits relatifs de solide d et des débits d'eau W, on l'exprime par la relation suivante:

$$y = y\ (Q_1,\ d,\ W) \qquad (8)$$

Désignons par b la matrice colonne des valeurs des mesures de y.

Les contraintes de bilan du circuit avec comme inconnues les variables d, Q_1, W s'écrivent sous forme du système d'équations suivantes:

$$H_{mic}\ (a,\ d) - 0 \qquad (9.a)$$

$$H_{mac}\ (Q_1,\ d,\ W) - 0 \qquad (9.b)$$

$$y\ (Q_1,\ d,\ W) - b - 0 \qquad (9.c)$$

Quatre situations sont possibles lors de la résolution de ce système:

1° Le système a une solution: ce cas est celui pour lequel le nombre de mesures faites correspond exactement au nombre de mesures nécessaires pour déterminer le système. C'est le cas aussi où le nombre de mesures est supérieur au nombre nécessaire mais où les mesures vérifient les équations de conservation de matière.

2° Le système est indéterminé: ce cas est celui pour lequel il n'y a pas assez de mesures pour déterminer le système et calculer toutes les variables inconnues.

3° Le système est redondant: ce cas est celui pour lequel il y a plus de mesures que nécessaire pour calculer les variables inconnues et qu'en même temps les mesures ne sont pas cohérentes au point de vue des équations de conservation de matière. Le système n'a pas de solution dans ce cas.

4° Le système est hybride: ce cas est celui du système qui comprend une partie non redondante et une partie redondante.

Pour établir la redondance du système d'équations pour les réseaux de Niobec, nous examinons les réseaux des figures 2 et 3 pour l'étude des variables macroscopiques et la figure 4 pour les microscopiques.

Pour les variables macroscopiques, considérons les sous-réseaux des figure 2 pour l'eau et figure 3 pour le solide.
Le premier sous-réseau permet d'écrire

$m - m_s = 7$ équations de bilan d'eau

pour $p - p_s = 15$ variables de débit.

Il existe donc 8 variables de débit d'eau indépendantes, c'est-à-dire nécessaires pour calculer tous les autres débits dans les branches.

Le second sous-réseau permet d'écrire

$m - m_w =$ 7 équations de bilan de solide

pour $p - p_w = 15 - 4 = 11$ variables de débit

Il existe donc 4 variables de débit de solide indépendantes, c'est-à-dire nécessaire pour calculer tous les autres débits de solide dans les branches.

Pour les deux sous-réseaux ensemble, H_{mac} est donc constitué de 14 équations à 26 inconnues.

Lors de la campagne de mesure, les variables macroscopiques suivantes ont été mesurées:

1 mesure de l'humidité du minerai d'alimentation

1 mesure du débit de solide de l'alimentation

10 fractions massiques de pulpe dans les branches.

Pour relier ces mesures aux 26 variables macroscopiques, il faut écrire 12 relations supplémentaires du type de l'équation (8). L'ensemble des contraintes macroscopiques (6) (8) est donc finalement constitué de 26 équations à 26 inconnues et ce système est tel que l'on peut complètement résoudre le système macroscopique. Considéré isolément le système macroscopique est donc non redondant et admet une solution et une seule.

Pour les variables microscopiques de la figure 4 de 5 noeuds et 10 branches, on a:

$m(n-1) = 5 \times 13$

$= 65$ équations de type 4

$p = 10$ équations de type 5

$pn = 140$ variables granulométriques

et 10 variables de débit relatif de solide.

Si l'on considère que les 140 variables granulométriques ont été déterminées par la mesure, les contraintes microscopiques prises isolément constituent donc un système redondant, sans solution à 75 équations et 10 inconnues. Ces 10 inconnues sont déjà comptabilisées dans les 26 inconnues du système macroscopique, donc le système (9) considéré globalement comporte 101 équations à 26 inconnues et il est donc globalement redondant et n'admet pas de solution. Cependant on peut trouver à l'intérieur de ce système d'équations un sous-système ne présentant pas de redondance. Ainsi un examen

attentif du système d'équations montre que la densité de pulpe des branches 1, 2, 3, 9 et le débit de pulpe de la branche 1 ne constituent pas un ensemble de données redondantes, ce qui signifie que les cinq équations de type (8) associées à ces mesures seront toujours vérifiées.

Le système (9) n'ayant pas de solution, il est nécessaire de corriger les mesures expérimentales de façon à ce que le système d'équations de conservation de la matière soit vérifié.

II.c. Le critère et sa décomposition

Les méthodes d'ajustement des données consiste à corriger les erreurs sur les mesures effectuées pour les rendre cohérentes du point de vue des équations de conservation de matière. Le problème revient à trouver des valeurs corrigées de variables telles que les écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs corrigées soient minimum et que les valeurs corrigées soient cohérentes.

L'algorithme doit ajuster les données le moins possible, les mesures les plus précises étant moins corrigées que les mesures les moins précises. Pour cela le principe utilisé par l'algorithme est la méthode des moindres carrés pondérés des écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs corrigées des variables. On admet généralement comme facteur de pondération associé à une mesure, l'inverse de la variance σ^2.

Soit F le nombre total de variables mesurées pendant un essai, le facteur de pondération s'écrit:

$$p_f = \frac{1}{\sigma_f^2} \qquad \text{pour } f = 1 \ldots F \tag{10}$$

Le critère des moindres carrés peut être écrit:

$$J = \sum_{f=1}^{F} (T_f - \hat{T}_f).\ p_f \tag{11}$$

où T_f et $\hat{T}_f$ désignent respectivement la valeur mesurée et la valeur calculée d'une même variable. En décomposant l'ensemble des variables en variables microscopiques et macroscopiques et en utilisant les expressions matricielles, le critère s'écrit:

$$J = \{(x^T, y^T) - (a^T, b^T)\}\ V^{-1}\ \{(x^T, y^T) - (a^T, b^T)\}^T \tag{12}$$

sous contrainte que $H_{mic}\ (x, d) = 0$ (13.a)

$$H_{mac}\ (Q_1, d, W) = 0 \tag{13.b}$$

$$y = y(Q_1, d, W) \tag{13.c}$$

où V désigne la matrice des covariances des mesures faites.
Les variables macroscopiques diffèrent des variables microscopiques et les erreurs sur les premières sont indépendantes des erreurs sur les secondes, la matrice de covariance peut alors s'écrire:

$$V = \begin{vmatrix} V_{mic} & 0 \\ 0 & V_{mac} \end{vmatrix}$$

Pour diminuer la complexité du problème de minimisation, le critère peut être scindé en deux parties, l'une ne comprend que les variables microscopiques, l'autre ne comprend que les variables macroscopiques, il s'écrit:

$$J = (x_m - a)^T \; V_{mic}^{-1} \; (x_m - a) + (y - b)^T \; V_{mac}^{-1} \; (y - b) \qquad (14)$$

$$= J_{mic} + J_{mac} \qquad (15)$$

Cette décomposition du critère permettrait de minimiser les deux parties indépendamment si on pouvait aussi partitionner les contraintes. Malheureusement, dans les équations 13.a, 13.b, 13.c, la variable d est commune aux contraintes de la partie microscopique et de la partie macroscopique du critère. Pour la minimisation du critère, ces débits relatifs d sont calculés dans un algorithme superviseur. Avec ces valeurs de la variable d, les deux parties du critère sont minimisées indépendamment l'une de l'autre par des algorithmes différents. Les solution a* pour les ajustements des variables microscopiques et y* pour les ajustements des variables macroscopiques sont fournies à l'algorithme superviseur qui évalue le minimum du critère par rapport à d. Cette minimisation en trois parties est illustrée par la figure 8 {5, 6, 7}.

II.d. Les principes de résolution

1° La recherche des débits de solide indépendants relatifs

L'algorithme superviseur travaille sur une série de débits de solide relatifs indépendants qui sont nécessaires pour calculer les autres. L'algorithme recherche dans le réseau macroscopique des solides les branches correspondant à ces débits. Intuitivement, nous en avons trouvé trois et nous établissons dans le paragraphe qui suit qu'il

suffit d'en choisir trois pour déterminer les autres. Nous avons estimé les débits relatifs dans les branches 4, 8 et 10 du circuit de Niobec, ce sont des rapports de charges circulantes qui permettent de calculer les débits relatifs de solide dans toutes les autres branches et d'en avoir ainsi les estimés de départ qui sont nécessaires pour l'algorithme superviseur.

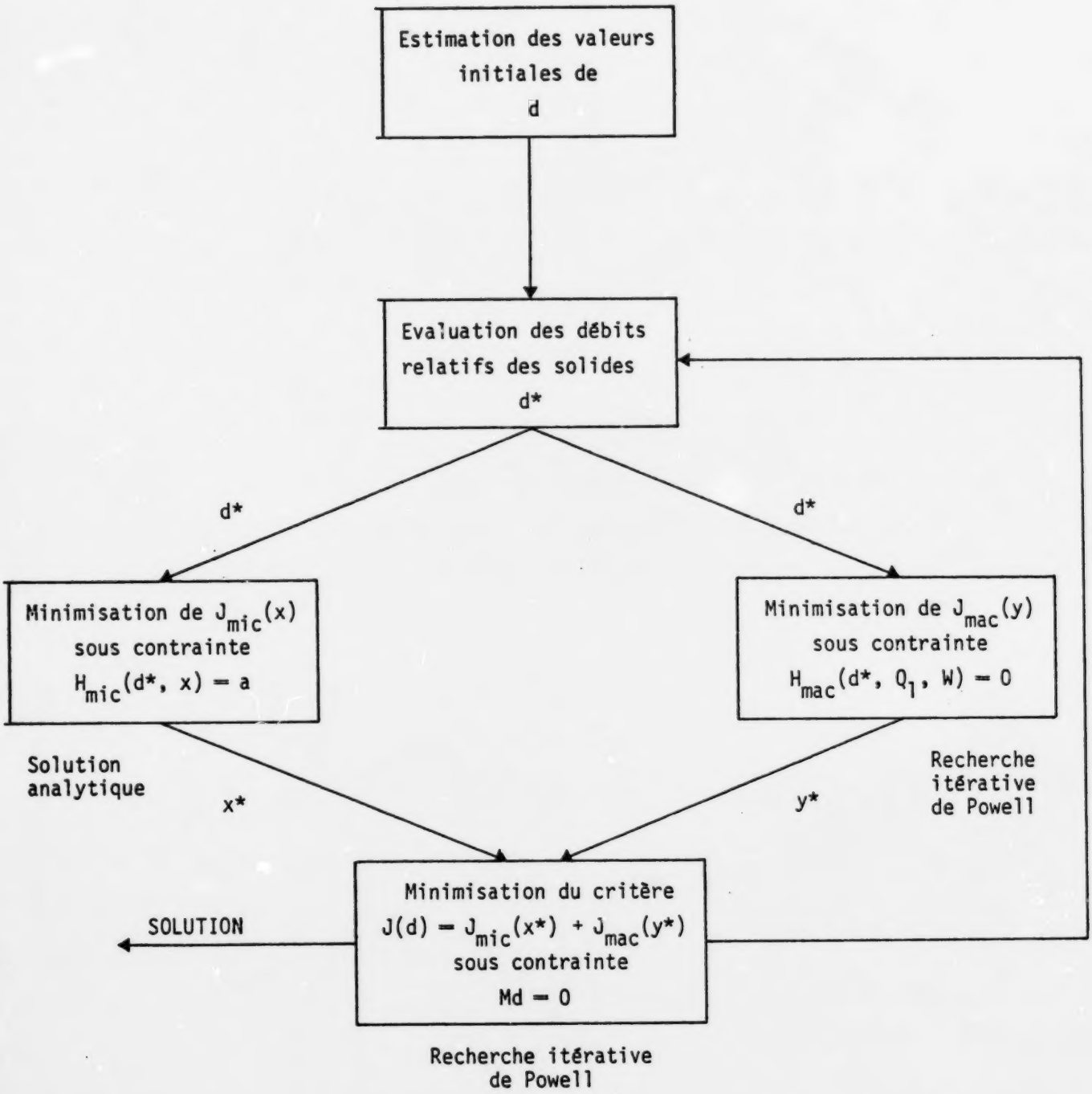


Figure 8 : Organigramme de l'algorithme BILMAT de minimisation en trois parties.

Pour la partie macroscopique, l'algorithme travaille sur un groupe de variables macroscopiques indépendantes pour lesquelles il faut avoir aussi des estimés de départ. A partir de ces estimés, toutes les autres variables macroscopiques qui interviennent dans le critère macroscopique sont évaluées.

2° L'algorithme superviseur

L'algorithme de minimisation du critère est basé sur la méthode des gradients conjugués de Powell {5, 8}. Le critère est minimisé sous la contrainte:

$$M_s . d = 0 \qquad (16)$$

où M_s est la matrice du réseau macroscopique de la figure 3. Cette contrainte représente un système de $(p-p_w)$ inconnues et $(m-m_w)$ équations linéaires. Il se résoud en utilisant la méthode d'élimination de Gauss-Jordan en transformant la matrice M_s en une juxtaposition de deux matrices M_1 et M_2 où M_1 est une matrice rectangulaire et M_2 une matrice triangulaire inférieure {9}.

La contrainte peut s'écrire:

$$(M_1, M_2)\ d = 0 \qquad (17)$$

Cette représentation met en évidence le nombre de branches indépendantes du réseau qui est de:

$$r_s = (p - p_w) - (m - m_w) \qquad (18)$$

L'équation (17) s'écrit encore:

$$M_1 \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ d_{r_s} \end{bmatrix} + M_2 \begin{bmatrix} d_{r_s+1} \\ d_p - p_w \end{bmatrix} = 0 \qquad (19)$$

$$\text{car } d^T = (1, \ldots d_{r_s}, d_{r_s+1} \ldots d_{p-p_w}) \qquad (20)$$

$$\begin{bmatrix} d_{r_s+1} \\ \vdots \\ d_{p-p_w} \end{bmatrix} = - M_2^{-1} M_1 \begin{bmatrix} 1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_{r_s} \end{bmatrix} = -M_2^{-1} M_2 \begin{bmatrix} 1 \\ \\ \Theta \end{bmatrix} \qquad (21)$$

où $\Theta = \begin{bmatrix} d_2 \\ \vdots \\ d_{r_s} \end{bmatrix}$ est l'ensemble de $(r_s - 1)$ variables de recherche sur lesquelles l'algorithme travaille. L'algorithme choisi $(r_s - 1)$ branches indépendantes, dont les valeurs des estimés de départ des variables peuvent soit être fournies au programme, soit être calculées automatiquement grâce à un module interne de BILMAT. Les calculs de l'algorithme superviseur se poursuivent dans une recherche itérative jusqu'à ce qu'un minimum stable du critère soit obtenu.

3° <u>L'ajustement microscopique</u>

Les équations des contraintes sont:

$$M\, x_i\, d^* = 0 \qquad \text{pour } i = 1....n-1 \qquad (22.a)$$

$$\sum_{i=1}^{n} Xij = 1 \qquad \text{pour } j = 1....p \qquad (22.b)$$

Sous forme matricielle, on peut écrire:

$$\begin{bmatrix} md^* & 0 & 0 \\ 0 & md^* & 0 \\ I & I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \} n-1 \\ \\ \\ \} p \end{matrix} \qquad (23)$$

$$B \cdot x = g \qquad (24)$$

Comme la matrice d est calculée dans un algorithme extérieur à celui de l'ajustement des variables microscopiques, le problème à résoudre devient un problème de minimisation d'une fonction quadratique avec des contraintes linéaires. La méthode analytique utilisée consiste à définir de nouvelles variables qui sont les multiplicateurs de Lagrange γ et à construire un nouveau critère, le lagrangien L, obtenu par la somme du critère microscopique et de la contrainte qui est multipliée par γ. Le lagrangien s'écrit

$$L = (x-a)^T V_{mic}^{-1} (x-a) + \gamma(Bx-g) \qquad (25)$$

La solution du problème est obtenue en résolvant le système d'équations suivantes qui expriment que le lagrangien L est stationnaire par rapport aux variables x et γ {5, 6, 10, 11}

$$\frac{\partial L}{\partial x} = 0 \qquad (26.a)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \gamma} = 0 \qquad (26.b)$$

avec la contrainte $Bx = g$. (26.c.)

La solution de ce système d'équations s'écrit {5, 6, 12}

$$x^* = a - V_{mic} B^T (BV_{mic} B^T)^{-1} (Ba-g). \qquad (27)$$

4° Le bilan macroscopique

Le problème à résoudre s'écrit:

$$\text{Minimiser } J_{mac}(d^*, y) = (y-b)^T V_{mac}^{-1} (y-b) \qquad (28)$$

$$\text{sous contrainte } H_{mac}(Q_1, d^*, W) = 0 \qquad (29.a)$$

$$y = y(Q1, d^*, W) \qquad (29.b)$$

Les débits relatifs d* sont déterminés dans l'algorithme superviseur. En les introduisant dans les contraintes de la partie macroscopique du critère, nous obtenons un problème de minimisation d'une fonction quadratique aux contraintes non linéaires. Il n'y a pas de solution analytique pour ce problème. Il est traité par l'algorithme de Powell qui travaille sur un groupe de variables indépendantes sélectionnées parmi les branches des sous-réseaux macroscopiques de solide et de l'eau.

Nous avons établi au paragraphe II.b que pour les figures 2 et 3, le nombre de variables de débit d'eau indépendantes est de

$$r_w = (p-p_s) - (m-m_s)$$

le nombre de variables de débit de solide indépendantes est de

$$r_s = (p-p_w) - (m-m_w) .$$

Au paragraphe II.d, nous avons établi que l'algorithme superviseur travaille sur (r_s-1) débits de solide relatifs indépendants, ces variables sont fixées dans cet algorithme extérieur à celui de J_{mac} et sont considérées comme connues pour ce dernier critère. Le nombre de variables indépendantes qui doivent être fixées pour résoudre le problème macroscopique se ramène à:

$$r_{mac} = r_w + r_s - (r_s-1) \tag{30}$$

$$= r_w + 1 \tag{31}$$

Pour évaluer les variables qui rentrent dans le critère, on calcule les débits solides dans toutes les branches à partir des débits solides relatifs d* évalués par l'algorithme superviseur et en choisissant le débit solide Q_1 comme référence, les autres débits sont calculés par la relation:

$$Q = Q_1 . d^* . \tag{32}$$

Soit t le nombre de débits d'eau indépendants, la représentation matricielle du sous-réseau de l'eau s'écrit:

$$(M_1^W, M_2^W)\, W = 0$$

$$M_1^W \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_t \end{bmatrix} + M_2^W \begin{bmatrix} W_{t+1} \\ \vdots \\ W_{p-p_s} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} w_{t+1} \\ \vdots \\ w_{p-p_s} \end{bmatrix} = - (M_2^W)^{-1} \; M_1^W \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} I \\ -M_2^{W-1} M_1^W \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_t \end{bmatrix} \tag{33}$$

Connaissant les matrices Q, W on peut calculer les fractions massiques de pulpe dans les branches par la relation:

$$y^* = \frac{Q}{Q + W} \qquad (34)$$

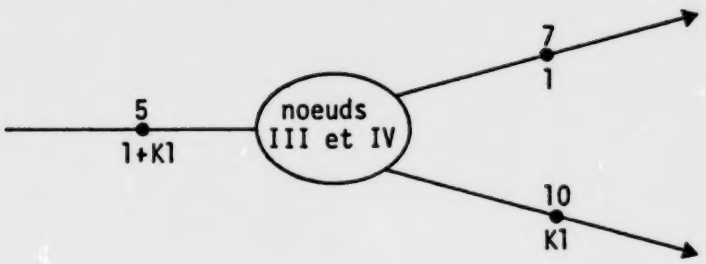
L'algorithme effectue des recherches sur les variables indépendantes choisies dans un processus itératif qui se poursuit jusqu'à l'atteinte d'un minimum stable de J_{mac} pour $y = y^*$.

III. Exécution du programme BILMAT et résultats

Le programme BILMAT requiert que les valeurs de certaines variables soient initialement estimées.

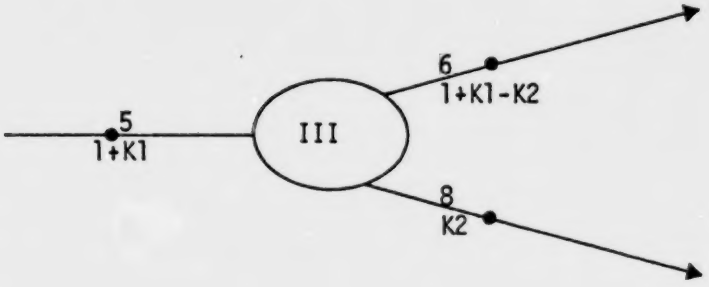
III.a. Estimation des valeurs initiales des débits relatifs de solide

Pour assurer une bonne convergence de l'algorithme, de bons estimés de départ pour les débits de solide indépendants relatifs sont nécessaires. Grâce à un programme interne du GRAAIM, nous avons calculé, par la technique de régression orthogonale (13), les rapports de charge circulante pour les branches 10, 8 et 4 du circuit que nous désignons par K1, K2 et K3. Ces valeurs sont des rapports entre les tonnages horaires des débits de solide dans ces branches et le tonnage du minerai solide à l'alimentation du broyeur à barres. Elles sont calculées ici uniquement avec les variables microscopiques mais elles auraient pu l'être aussi avec les variables macroscopiques. Elles sont évaluées par les relations suivantes:



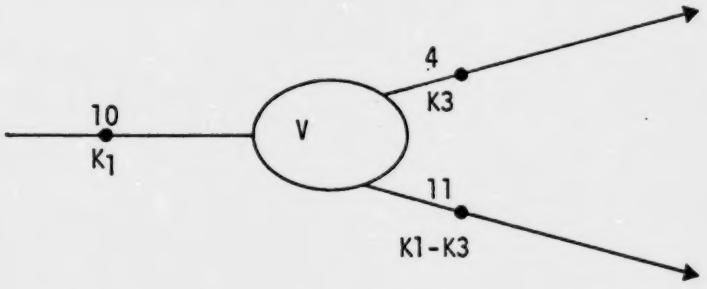
$$(1+K1)x_{i5} = x_{i7} + K1\ x_{i10}$$

$$K1 = \frac{x_{i7} - x_{i5}}{x_{i5} - x_{i10}} \qquad (35)$$



$$(1+K1)\ x_{i5} = (1+K1-K2)\ x_{i6} + K2.x_{i8}$$

$$K2 = (1 + K1)\ \frac{x_{i5} - x_{i6}}{x_{i8} - x_{i6}} \qquad (36)$$



$$K1.x_{i10} = K3.x_{i4} + (K1 - K3)\ x_{i11}$$

$$K3 = K1.\ \frac{x_{i10} - x_{i11}}{x_{i4} - x_{i11}} \qquad (37)$$

Appliqués à l'essai N^{O} 2, ces estimés (tableau II) sont illustrés par les figures 9, 10 et 11 respectivement pour les rapports de charge circulante K1, K2 et K3. La figure 11 montre que l'estimé de K3 est très imprécis. Grâce au tableau III, les estimés des débits solides relatifs dans toutes les branches peuvent être calculés.

X7	X5	X10	X7-X5	X5-X10	K1
0.00	0.83	3.42	-0.83	-2.59	0.32
0.00	1.45	4.43	-1.45	-2.98	0.49
0.00	2.77	7.48	-2.77	-4.71	0.59
0.09	3.55	8.30	-3.46	-4.75	0.73
0.18	4.07	9.05	-3.89	-4.98	0.78
0.40	4.55	8.61	-4.15	-4.06	1.02
2.36	7.95	13.08	-5.59	-5.13	1.09
6.17	10.16	13.19	-3.99	-3.03	1.32
10.94	10.48	9.66	0.46	0.82	0.56
12.42	9.17	5.64	3.25	3.53	0.92
13.38	8.87	4.03	4.51	4.84	0.93
6.86	4.68	1.93	2.18	2.75	0.79
10.16	6.74	2.35	3.42	4.39	0.78
37.04	24.73	8.83	12.31	15.90	0.77

X5	X6	X8	X5-X6	X8-X6	K2
0.83	0.00	4.82	0.83	4.82	0.31
1.45	0.12	6.58	1.33	6.46	0.37
2.77	0.12	10.85	2.65	10.73	0.45
3.55	0.26	11.41	3.29	11.15	0.53
4.07	1.13	11.25	2.94	10.12	0.53
4.55	2.45	8.50	2.10	6.05	0.63
7.95	6.56	10.34	1.39	3.78	0.67
10.16	9.97	9.54	0.19	-0.43	-0.80
10.48	12.43	7.36	-1.95	-5.07	0.70
9.17	11.24	4.63	-2.07	-6.61	0.57
8.87	11.06	3.44	-2.19	-7.62	0.52
4.68	5.95	1.73	-1.27	-4.22	0.55
6.74	8.13	2.09	-1.39	-6.04	0.42
24.73	30.58	7.46	-5.85	-23.12	0.46

X10	X11	X4	X10-X11	X4-X11	K3
3.42	5.64	0.00	-2.22	-5.64	0.32
4.43	6.18	0.00	-1.75	-6.18	0.23
7.48	10.21	0.03	-2.73	-10.18	0.22
8.30	10.79	0.03	-2.49	-10.76	0.19
9.05	11.42	0.03	-2.37	-11.39	0.17
8.61	10.25	0.04	-1.64	-10.21	0.13
13.08	13.83	0.06	-0.75	-13.77	0.04
13.19	13.32	0.13	-0.13	-13.19	0.01
9.66	8.44	0.27	1.22	-8.17	-0.12
5.64	4.52	1.30	1.12	-3.22	-0.28
4.03	2.48	8.14	1.55	5.66	0.22
1.93	0.76	8.06	1.17	7.30	0.13
2.35	0.70	13.98	1.65	13.28	0.10
8.83	1.46	67.93	7.37	66.47	0.09

VALEURS ESTIMEES PAR REGRESSION ORTHOGONALE :

K1 = 0.81219

K2= 0.48620

K3= 0.09374

Tableau II : Estimations initiales des valeurs des rapports de charges circulantes pour les branches 4, 8 et 10 en fonction des variables microscopiques de l'essai N° 2.
Les symboles x_j désignent les distributions granulométriques dans les branches d'indice j.

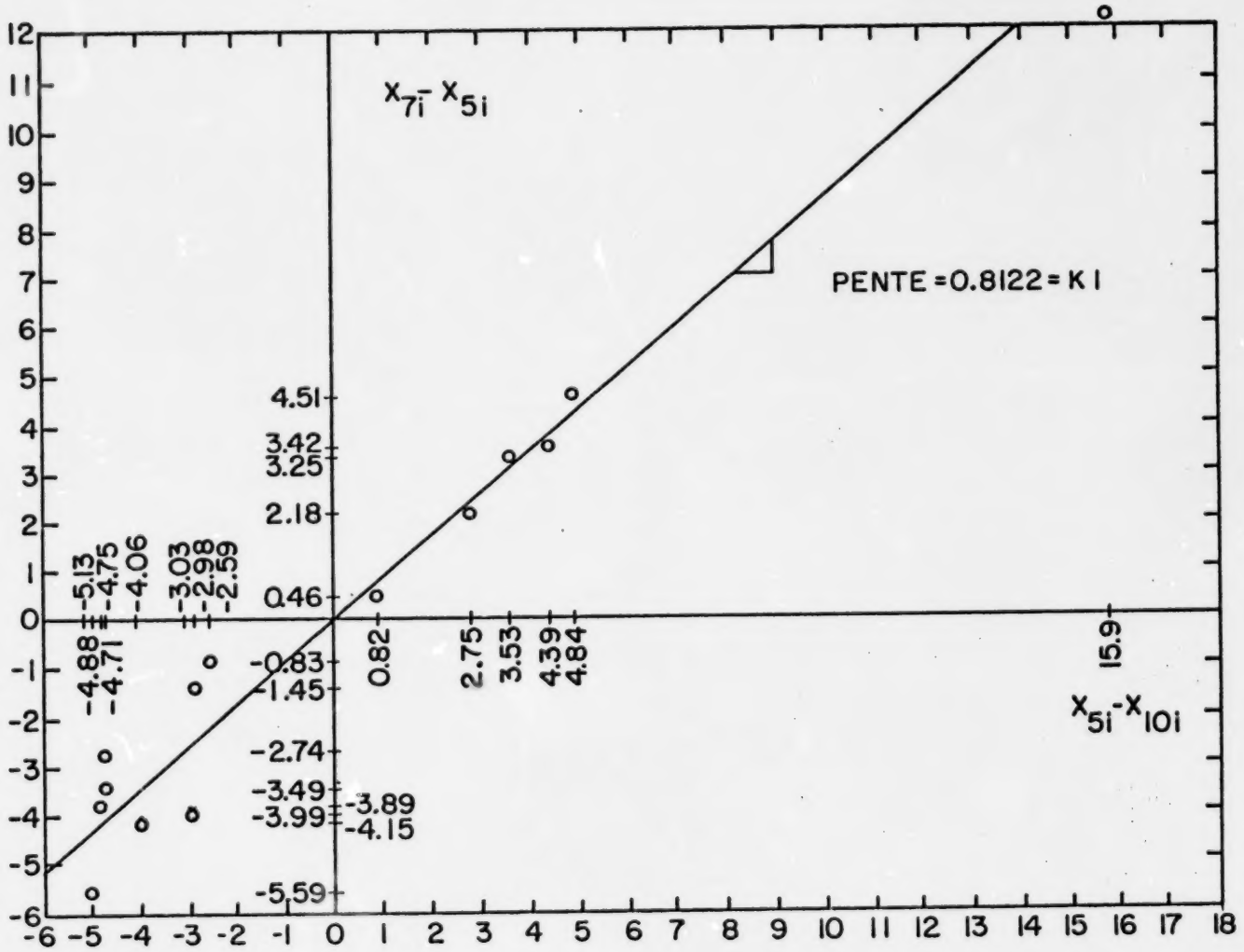


Figure 9 : Estimation de la valeur du rapport de charge circulante K1 pour l'essai N° 2.

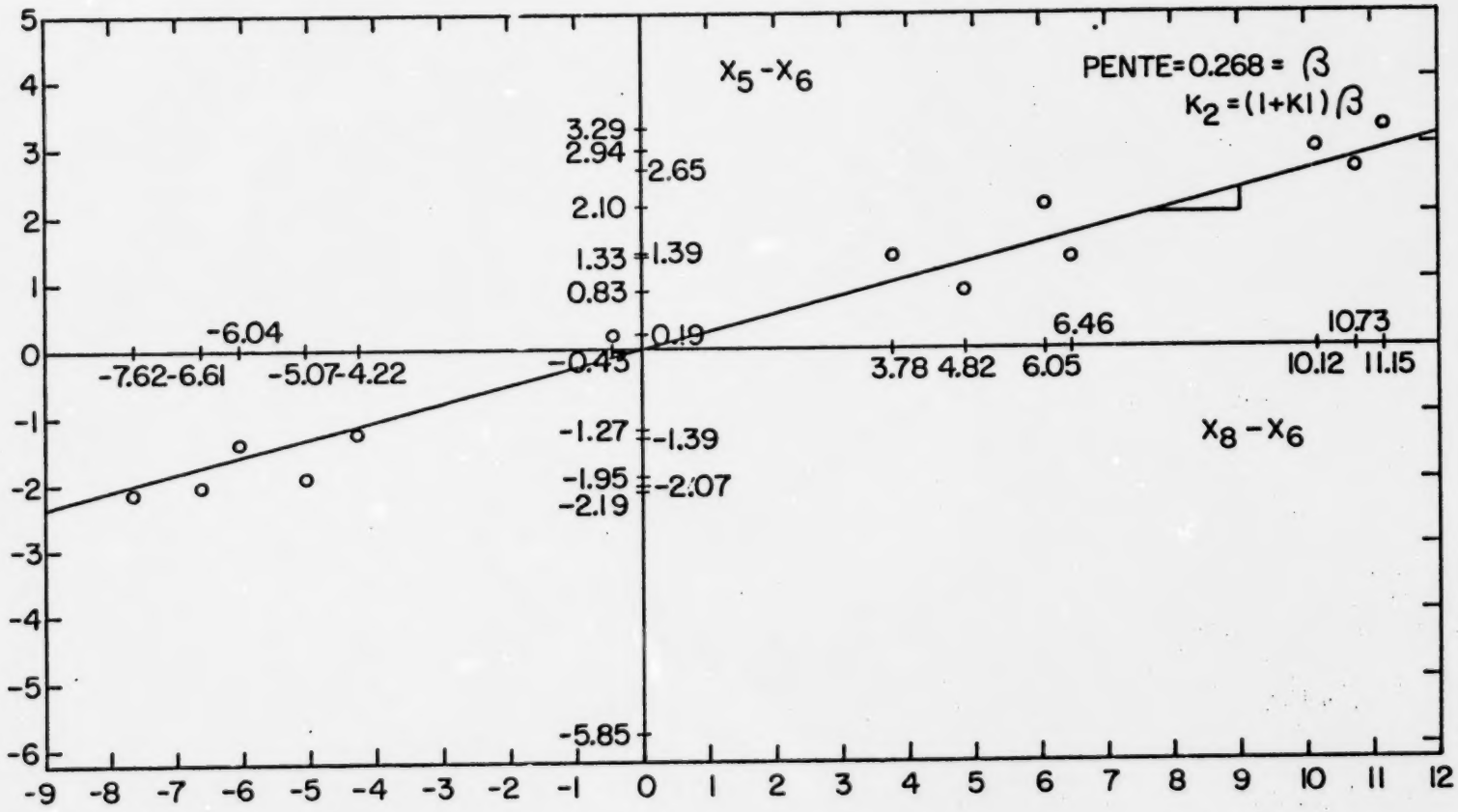


Figure 10 : Estimation de la valeur du rapport de charge circulante K2/(1+K1)pour l'essai N° 2.

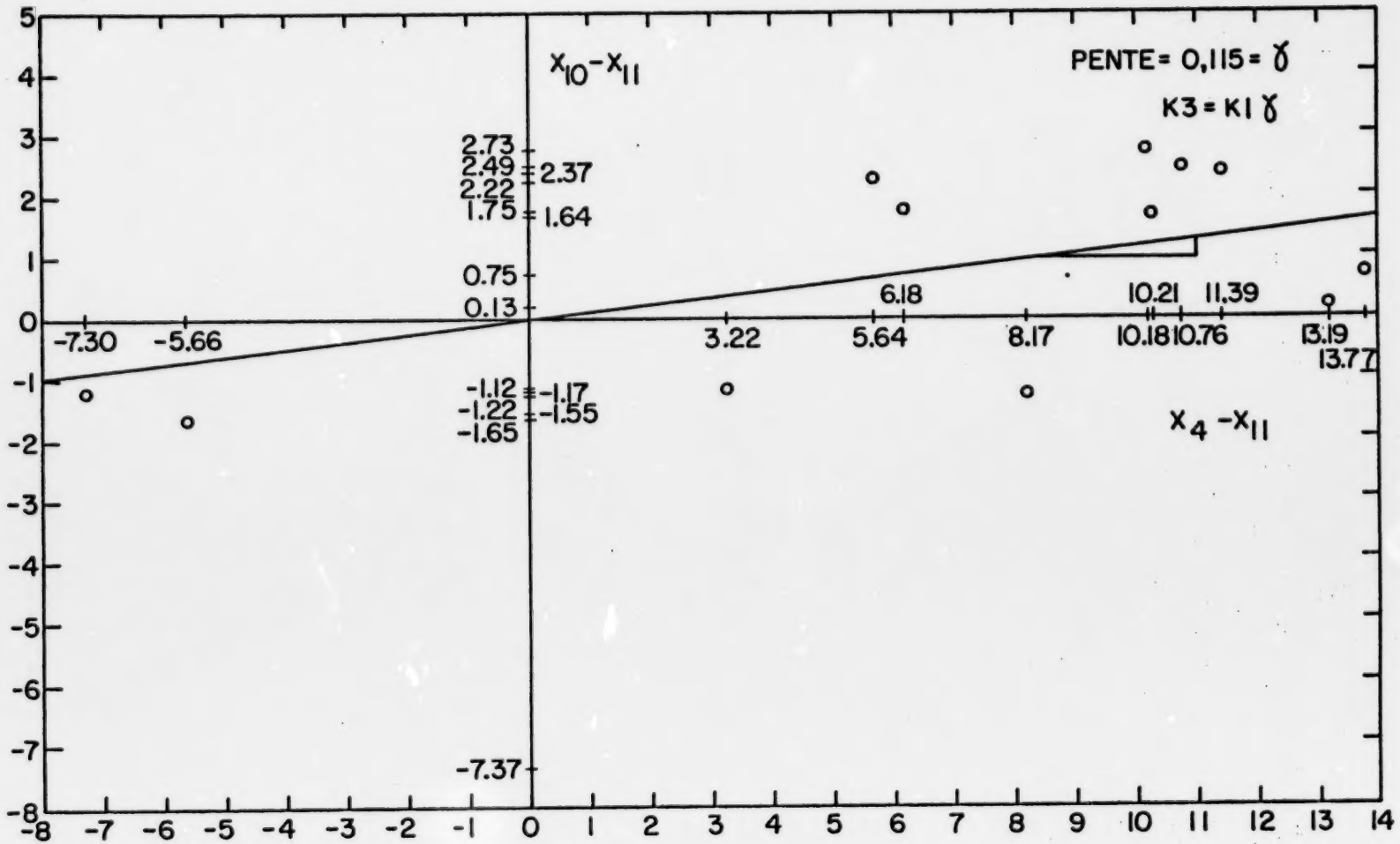


Figure 11 : Estimation de la valeur du rapport de charge circulante K3/K1 pour l'essai N° 2.

Numéros des branches	Débits relatifs de solide
1	1
2	1
3	K - K3
4	K3
5	1 + K
6	1 + K - K2
7	1
8	K2
9	K - K3
10	K
11	K - K3

Tableau III : Estimation des débits relatifs de solide dans les branches.

Le programme BILMAT peut aussi nous fournir des estimés de ces débits relatifs grâce à une méthode automatique basée sur la minimisation d'erreurs d'équations de bilan matière développée par Lynch {3}.

Le programme BILMAT sélectionne trois variables dans l'ensemble des débits indépendants pour lequel nous avons tous les estimés. Les variables choisies ne correspondent pas nécessairement aux branches que nous avons intuitivement sélectionnées.

III.b. Estimation des valeurs initiales des variables macroscopiques pour l'algorithme du critère macroscopique

Connaissant le débit de minerai à l'alimentation du circuit et disposant des valeurs des fractions massiques de pulpes mesurées pour les branches du circuit, nous calculons les estimés des débits de solide et de l'eau. Ces valeurs peuvent être estimées grossièrement, car elles ne sont utilisées qu'une fois au début des itérations de minimisation du critère macroscopique. Pour les calculs ultérieurs, les valeurs calculées sont utilisées comme nouvelles estimations. Nous avons estimé des valeurs pour l'essai N^{O} 2 et elles ont servi pour tous les autres essais (annexe 1).

III.c. Estimation des variances associées aux mesures

Les mesures obtenues en usine sont entachées d'erreurs dont les causes sont multiples:

- les perturbations naturelles du circuit qui sont difficiles à quantifier. Ce sont les variations de débits, de granularité et de dureté.
- les erreurs d'échantillonnage dues à la ségrégation des pulpes hétérogènes, à la difficulté d'accès aux écoulements de pulpe et à la qualité des échantillonneurs utilisés.
- les erreurs de lecture d'instruments de mesure dues à leur imprécision.
- les erreurs d'analyse en laboratoire.

Pour les variables microscopiques, les causes d'erreurs les plus accessibles sont les erreurs de granularité dues à l'échantillonnage, à la division des pulpes, au tamisage et aux instruments de mesure. Pour une fraction massique x_i retenue sur le tamis i, la variance $\sigma_i^2 = k\ (1 + 40.x_i)^2$ (38)

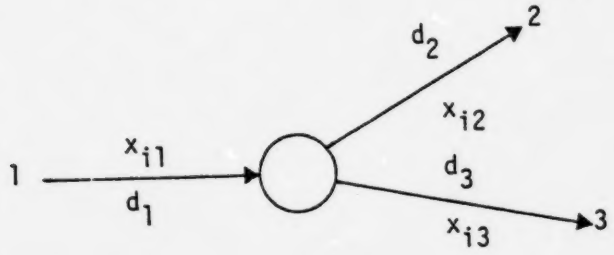
où k est un facteur qui vaut {12}:

10^{-6} pour tout intervalle granulométrique

2×10^{-6} pour les mesures qui concernent le dernier intervalle granulométrique et qui sont généralement moins précises que les autres.

A cause de la contrainte (5), la solution (28) du problème microscopique peut être négative. Nous admettons encore comme valeurs nulles les ajustements négatifs supérieurs à -10^{-5} tandis que les valeurs inférieures à -10^{-5} ne respectent pas les contraintes. Nous imposons aux valeurs nulles la variance faible de 10^{-15} pour qu'elles ne s'ajustent que très faiblement d'une valeur de l'ordre de grandeur de la variance, mais en nous assurant que

- toute valeur nulle considérée ne provient pas d'une perte de solide lors du tamisage. Par exemple, soit le noeud suivant:



si pour l'intervalle granulométrique i la fraction retenue x_{i1} est nulle alors que x_{i2} ou x_{i3} ne le sont pas, il n'y a pas de vérification de l'équation de bilan autour de ce noeud selon l'équation suivante:

$$d_1 \cdot x_{i1} = d_2 \cdot x_{i2} + d_3 \cdot x_{i3} \qquad (39)$$

La valeur nulle provient d'une erreur de tamisage et il faut la laisser s'ajuster librement, la variance choisie est alors 10^{-6}.

- dans une distribution granulométrique à e éléments nuls dans les tranches grossières, seuls les (e-1) premiers éléments nuls auront une variance associée de 10^{-16} {6}.

Les variances associées aux grandeurs microscopiques qui servent au calcul du critère apparaissent dans les tableaux des résultats de l'annexe 2.

Pour les variables macroscopiques, la connaissance du circuit et l'estimation des difficultés des conditions d'échantillonnage des divers points permettent de choisir subjectivement les écarts types relatifs σ_{rj} (j = 1 ... p) pour chaque mesure faite y_j; nous avons choisi les valeurs suivantes:

0.3% pour la fraction massique de la pulpe de l'alimentation du broyeur à barres (point 1),

2% pour la fraction massique de la surverse du classificateur à spirale (point 4),

3% pour la fraction massique des décharges des broyeurs (points 2 et 3), de la sousverse du second étage de tamis DSM (point 7), de la surverse du premier étage de tamis DSM (point 8) et de l'alimentation du classificateur à vis (point 10),

4.5% pour la fraction massique de la décharge du broyeur à boulets avant le point d'ajout d'eau (point 9), de l'alimentation et de la sousverse du premier étage de tamis DSM (points 5 et 6),

8% pour la fraction massique de la sousverse du classificateur à vis (point 11).

Le tableau IV reprend ces valeurs pour les cinq essais et fournit aussi les valeurs des facteurs des pondérations associées.

III.d. Fonctionnement du programme BILMAT

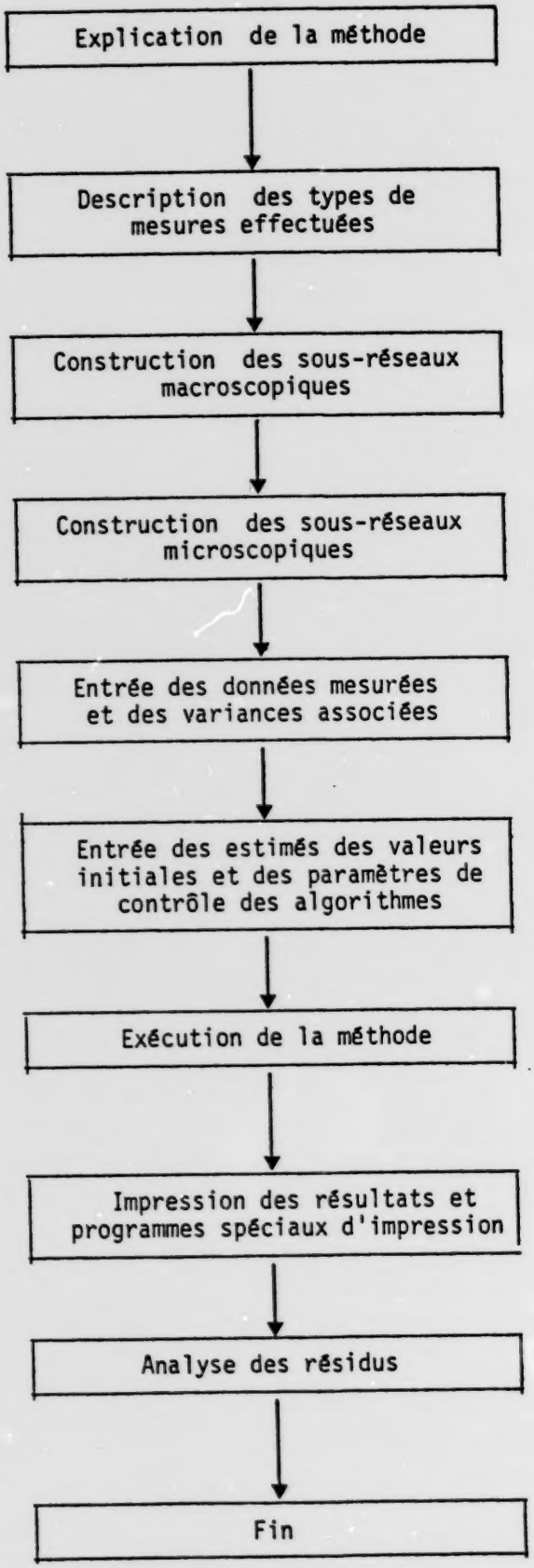
Le mode de fonctionnement du programme BILMAT rédigé en langage APL est schématisé par la figure 12. Le programme fournit d'abord les explications sur la méthode, ce qui facilite son utilisation pour un utilisateur non informé. Le programme demande ensuite les types de mesures effectuées; par exemple les granulométries déterminées en partie par tamisage et en partie par cyclosizer constitueraient deux types de mesure pour ces variables microscopiques. Grâce à une série de questions-réponses sur les noeuds et les branches qui se joignent dans le circuit, les sous-réseaux macroscopiques et

	Essai N° 1			Essai N° 2			Essai N° 3		
BR	MES	ETR	POND	MES	ETR	POND	MES	ETR	POND
1.00	0.97	0.00	118090.24	0.97	0.00	118090.24	0.97	0.00	118090.24
2.00	0.76	0.03	1904.58	0.76	0.03	1934.85	0.75	0.03	1962.73
3.00	0.62	0.03	2911.13	0.47	0.03	5116.65	0.46	0.03	5315.51
4.00	0.15	0.02	118906.06	0.09	0.02	318113.81	0.07	0.02	560256.73
5.00	0.37	0.05	3538.03	0.30	0.05	5317.26	0.32	0.05	4721.66
6.00	0.29	0.05	5916.70	0.25	0.05	7630.28	0.25	0.05	7958.43
7.00	0.22	0.03	22728.98	0.23	0.03	21947.87	0.21	0.03	26208.66
8.00	0.50	0.03	4428.49	0.47	0.03	5086.04	0.57	0.03	3475.73
9.00	0.63	0.05	1250.95	0.64	0.05	1194.78	0.67	0.05	1106.02
10.00	—	—	—	0.45	0.03	5496.00	0.54	0.03	3864.59
11.00	0.57	0.08	488.08	0.74	0.08	288.45	0.73	0.08	292.89

	Essai N° 4			Essai N° 5		
BR	MES	ETR	POND	MES	ETR	POND
1.00	0.97	0.00	118090.24	0.97	0.00	118090.24
2.00	0.77	0.03	1885.27	0.73	0.03	2087.89
3.00	0.54	0.03	3760.09	0.33	0.03	10172.19
4.00	0.10	0.02	247518.63	0.05	0.02	1080562.41
5.00	0.38	0.05	3384.14	0.23	0.05	9384.00
6.00	0.33	0.05	4501.88	0.20	0.05	12162.56
7.00	0.27	0.03	15366.53	0.18	0.03	32818.74
8.00	0.61	0.03	2945.36	0.51	0.03	4248.50
9.00	0.70	0.05	1010.70	0.62	0.05	1278.48
10.00	0.58	0.03	3263.44	0.44	0.03	5713.21
11.00	0.79	0.08	253.24	0.80	0.08	246.48

Tableau IV : Mesures des fractions massiques des pulpes (MES), écarts-types relatifs associés (ETR) et facteurs de pondération (POND) associés aux mesures pour toutes les branches (BR) et pour les cinq essais.

Figure 12 : Organigramme du fonctionnement du programme BILMAT.



microscopiques sont construits. Les valeurs mesurées des variables et les variances associées sont ensuite introduites. Les estimés initiaux sont fournis par l'utilisateur pour les algorithmes de Powell. Le programme est ensuite exécuté suivant le schéma de la figure 8 qui est détaillé par la figure 13. Un exemple d'utilisation de cet algorithme conservationnel est présenté dans l'annexe 1 pour l'essai N^{o} 1.

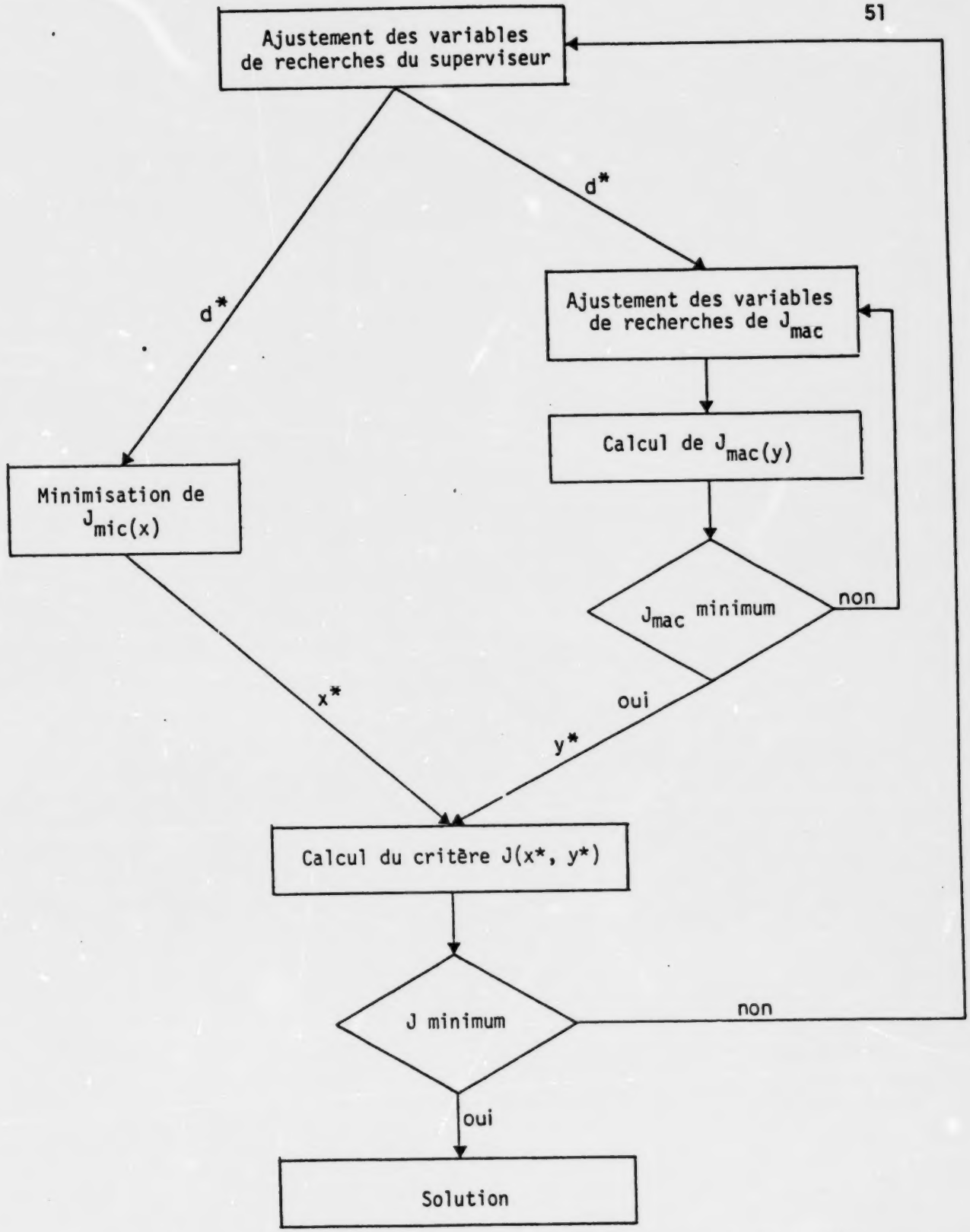


Figure 13 : Organigramme de la minimisation du critère en trois parties.

III.e. Résultats

Après l'exécution du programme, l'utilisateur choisit le type de résultats qui doivent être imprimés. L'annexe 2 indique les résultats pour les cinq régimes du circuit de Niobec. Sont imprimés dans cette table pour chaque variable: les valeurs observées et calculées, les ajustements relatifs et les écarts-types relatifs associés qui ont servi au choix des pondérations.

Pour les variables macroscopiques, les résultats sont récapitulés dans les tableaux V, VI et VII.

Le tableau V indique les valeurs des débits des pulpes (DPU) à l'alimentation du broyeur à barres pour les cinq régimes. Il indique les débits des divers ajouts d'eau au circuit, la numérotation concerne les branches du circuit. La branche d'ajout d'eau au broyeur à boulets est désignée par les numéros 10 pour le premier essai et 15 pour les autres. Les rapports de charges circulantes à travers le broyeur à boulets sont eux aussi indiqués. Ce tableau fournit pour les tamis DSM et le classificateur à vis les débits de solide dans les branches, leurs partages en pourcentage et les moyennes de ces partages.

Le tableau VI fournit pour les deux étages de tamis les débits d'eau dans les branches, leur partage et les moyennes des partages.

Le tableau VII indique les fractions massiques des pulpes, les débits de solide et d'eau dans toutes les branches.

AJOUTS D'EAU EN t/h

N°	DPU	10	12	13	14	15	CIR(%)
1	72.70	9.42	19.62	197.69	2.77	———	144.80
2	70.74		19.82	144.10	39.73	26.66	98.00
3	72.35		20.94	172.10	50.78	21.61	104.70
4	80.77		21.29	114.77	41.05	29.23	128.00
5	60.34		19.90	180.38	45.44	13.26	54.90

PARTAGE DE SOLIDE

TAMIS DSM PRIMAIRES

N°	5	6	%. en sousverse	MOY des % en sousverse	8	%. en surverse	MOYdes % en surverse
1	193.87	109.03	56.24	64.88	84.84	43.76	35.12
2	145.21	90.03	62.00		55.18	38.00	
3	147.81	105.14	71.13		42.67	28.87	
4	186.16	107.42	57.70		78.74	42.30	
5	92.60	71.59	77.31		21.01	22.69	

TAMIS DSM SECONDAIRES

N°	6	7	%. en sousverse	MOYdes % en sousverse	(6-7)	%. en surverse	MOYdes % en surverse
1	109.03	70.52	64.68	72.47	38.51	35.32	27.53
2	90.03	68.62	76.22		21.41	23.78	
3	105.14	70.18	66.75		34.96	33.25	
4	107.42	78.35	72.94		29.07	27.06	
5	71.59	58.53	81.76		13.06	18.24	

CLASSIFICATEUR A VIS

N°	10	4	%. en surverse	MOYdes % en surverse	11	%. en sousverse	MOYdes % en sousverse
1	123.35	21.24	17.22	9.48	102.11	82.78	90.52
2	76.58	9.33	12.18		67.25	87.82	
3	77.62	4.14	5.33		73.48	94.67	
4	107.81	7.52	6.98		100.29	93.02	
5	34.07	1.93	5.66		32.14	94.34	

Tableau V : Résultats récapitulés. DPU désigne le débit de minerai humide à l'alimentation, CIR indique le rapport de charge circulante à travers le broyeur à boulets.

PARTAGE D'EAU

TAMIS DSM PRIMAIRES

	5	6	%/. en sousverse	MOY des partages	8	%/. en surverse	MOY des partages
1	406.11	318.32	78.38	85.18	87.79	21.62	14.82
2	337.39	274.05	81.22		63.35	18.78	
3	339.93	307.23	90.38		32.70	9.62	
4	289.68	238.92	82.48		50.76	17.52	
5	305.21	285.14	93.42		20.07	6.58	

TAMIS DSM SECONDAIRES

	6	7	%/. en sousverse	MOY des partages	(6-7)	%/. en surverse	MOY des partages
1	318.32	231.68	72.78	84.71	86.64	27.22	15.29
2	274.05	232.43	84.81		41.62	15.19	
3	307.23	267.59	87.10		39.63	12.90	
4	238.92	208.76	87.38		30.16	12.62	
5	285.14	260.78	91.46		24.36	8.54	

Tableau VI : Partages de l'eau aux tamis DSM.

N° Essai	N° BRANCHE 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1
CONCENTRATION EN SOLIDE DES PULPES (%)															
1.00	97.00	76.38	61.78	14.68	32.31	25.51	23.34	49.14	62.83	——	66.70				
2.00	97.00	75.78	46.59	9.01	30.09	24.73	22.79	46.55	64.28	42.18	86.25				
3.00	97.00	75.23	45.71	6.72	30.30	25.50	20.78	56.61	66.81	51.76	83.14				
4.00	97.00	76.77	54.34	10.10	39.12	31.02	27.29	60.80	69.89	57.12	87.77				
5.00	97.00	72.95	33.07	4.83	23.28	20.07	18.33	51.15	62.12	43.40	83.52				
DEBITS SOLIDE (t/h)															
1.00	70.52	70.52	102.11	21.24	193.87	109.03	70.52	84.83	102.11	——	102.11				
2.00	68.62	68.62	67.25	9.33	145.21	90.03	68.62	55.17	67.25	76.58	67.25				
3.00	70.18	70.18	73.48	4.14	147.81	105.14	70.18	42.67	73.48	77.62	73.48				
4.00	78.35	78.35	100.29	7.52	186.16	107.42	78.35	78.74	100.29	107.81	100.29				
5.00	58.53	58.53	32.14	1.93	92.60	71.59	58.53	21.01	32.14	34.07	32.14				
DEBITS D'EAU (t/h)															
1.00	2.18	21.80	63.17	123.45	406.11	318.32	231.68	87.79	60.40	9.42	50.98	19.62	197.69	2.77	
2.00	2.12	21.94	77.11	94.24	337.39	274.05	232.43	63.35	37.37	104.96	10.72	19.82	144.10	39.73	26..
3.00	2.17	23.11	87.29	57.44	339.93	307.23	267.59	32.70	36.51	72.34	14.90	20.94	172.10	50.78	21..
4.00	2.42	23.71	84.26	66.94	289.68	238.92	208.76	50.76	43.21	80.92	13.98	21.29	114.77	41.05	29..
5.00	1.81	21.71	65.03	38.09	305.21	285.14	260.78	20.07	19.60	44.43	6.34	19.90	180.38	45.44	13..

Tableau VII : Variables macroscopiques récapitulées. La numérotation indique les numéros des branches.

La production des fines particules est une source de difficultés pour la flottation du pyrochlore, aussi avons-nous présenté dans le tableau VIII les pourcentages des particules fines passant le tamis de 400 mesh pour toutes les branches du circuit.

Le tableau IX concerne l'étude des résidus sur les granulométries. Soit $\hat{x}_{ij}$ la valeur corrigée de la fraction x_{ij} retenue dans l'intervalle granulométrique i dans la branche j. Pour chaque branche j et chaque essai k, l'erreur-type moyenne absolue est calculée selon la formule:

$$E_{jk} = \frac{100}{n} \{ \sum_{i=1}^{n} (x_{ij} - \hat{x}_{ij})^2 \}^{\frac{1}{2}} \qquad (40)$$

ainsi que les moyennes des E_{jk} calculées par essai et par branche.

	POURCENTAGES PASSANT 400 MESH)									
N°	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	14.03	15.85	59.54	19.98	28.87	33.74	8.54	15.85	-----	2.21
2	17.68	20.83	67.29	22.33	31.41	36.62	7.51	20.80	9.53	1.51
3	17.33	20.41	80.92	20.64	27.76	37.15	3.11	20.41	5.72	1.48
4	15.86	15.28	74.15	17.90	27.28	32.92	5.10	15.28	6.98	1.94
5	21.48	29.83	85.34	25.71	32.39	37.22	2.94	29.83	5.93	1.16

Tableau VIII : Pourcentages passant le tamis de 400 mesh dans les différentes branches.

branches	Essais 1	2	3	4	5	moyenne
2	0.45	0.68	0.72	0.85	0.91	0.72
3	0.19	0.27	0.08	0.28	0.21	0.21
4	0.08	0.21	0.03	0.03	0.06	0.08
5	0.76	1.03	0.93	1.46	0.90	1.02
6	0.76	0.32	0.96	0.28	0.24	0.51
7	0.64	0.23	0.33	0.70	0.21	0.42
8	0.21	0.19	0.47	0.27	0.34	0.30
9	0.28	0.24	0.33	0.15	0.16	0.23
10	-	0.46	0.33	0.26	0.36	0.35
11	0.38	1.06	0.54	0.70	0.64	0.66
moyenne	0.47	0.56	0.55	0.63	0.48	

Tableau IX : Erreurs-types moyennes E_{jk} sur les analyses granulométriques.

III.f. Efficacité des tamis DSM

Ne disposant pas encore de modèle pour décrire le comportement des tamis DSM, nous calculons les efficacités grâce aux équations de bilan matière autour de ces classificateurs. Le circuit des tamis DSM du concentrateur de Niobec est schématisé par la figure 14 où pour toute branche j nous indiquons le débit de solide Q_j.

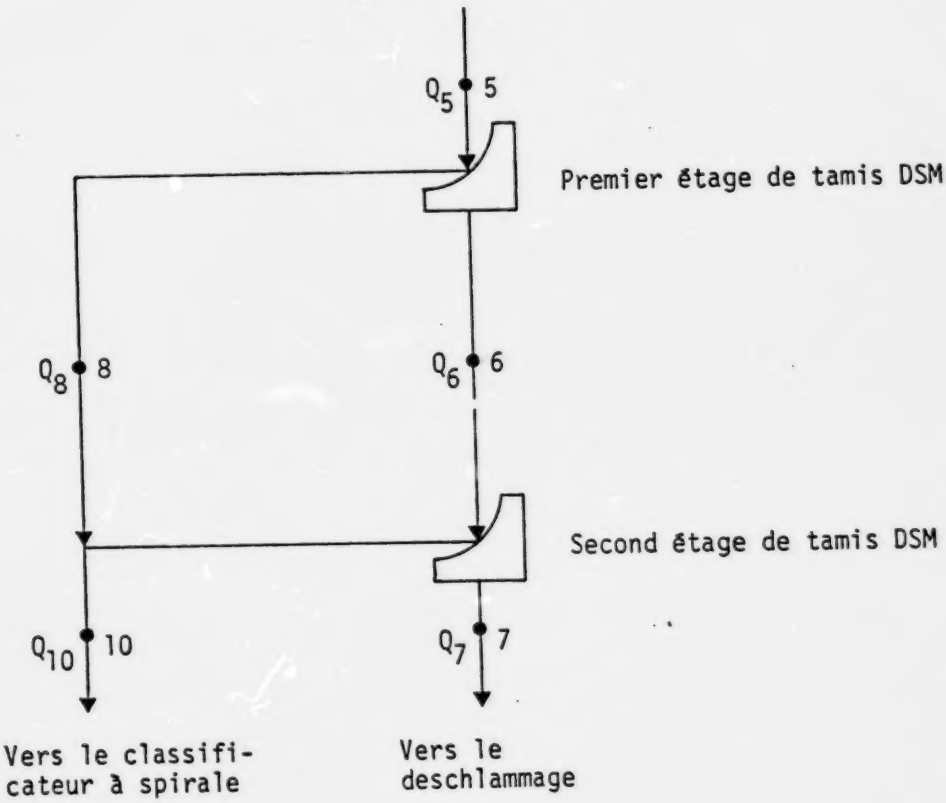


Figure 14 : Schéma du circuit de tamis DSM

1° Efficacité réelle

Pour les deux étages de tamis, les efficacités réelles expriment les fractions de solide de l'alimentation de tamis qui vont en surverse. Pour tout intervalle i de dimension de particules, on peut écrire:

efficacité réelle à l'étage primaire:

$$CP_i = \frac{Q_8 \cdot x_{i8}}{Q_5 \cdot x_{i5}} \qquad (42)$$

efficacité réelle à l'étage secondaire:

$$CS_i = \frac{Q_6 \cdot x_{i6} - Q_7 \cdot x_{i7}}{Q_6 \cdot x_{i6}} \qquad (43)$$

On trouvera dans l'annexe 4 les courbes d'efficacité pour chacun des essais. Les calculs sont faits en utilisant les valeurs fournies par BILMAT.

2° Efficacité corrigée

Les particules solides évacuées en surverse des tamis le sont par l'un des deux mécanismes suivants:

- le soutirage ou entraînement des fines particules dans la surverse
- la classification proprement dite.

Sur les courbes d'efficacité réelles obtenues, les valeurs de soutirage sont déterminées subjectivement par les valeurs asymptotiques

de ces courbes dans la zone correspondant aux dimensions fines des particules. Désignons par

SP les valeurs de soutirage en pourcentage pour les tamis primaires,

SS les valeurs de soutirage en pourcentage pour les tamis secondaires.

On admet généralement (pour les cyclones par exemple) que c'est l'eau accompagnant les grenues qui entraîne les fines particules. Nous allons ici étudier cette possibilité.

Les partages d'eau au tamis désignés par RFP et RFS respectivement pour les tamis primaires et les tamis secondaires sont calculés par les relations suivantes:

$$RFP = \frac{W_8}{W_5} \qquad (44)$$

$$RFS = \frac{W_6 - W_7}{W_6} \qquad (45)$$

Le tableau X fournit les valeurs des soutirages et des partages d'eau calculées pour les cinq essais.

Essai	PRIMAIRE		SECONDAIRE	
	RF %	SOUT %	RF %	SOUT %
1.0	21.7	18.0	27.3	17.0
2.0	18.7	13.0	15.2	8.0
3.0	9.6	5.0	12.9	9.0
4.0	17.5	11.0	12.6	10.0
5.0	6.6	2.0	8.5	5.0

Tableau X : Partage de l'eau et soutirage des fines aux deux étages de tamis DSM. (SOUT = soutirage des fines)

Les efficacités corrigées expriment la classification proprement dite effectuée aux tamis. Pour les calculer, nous ne pouvons pas assimiler les soutirages des fines aux partages de l'eau car, contrairement aux hydrocyclones, les valeurs des partages de l'eau semblent être supérieures à celles des soutirages (figure 15). Les efficacités corrigées sont calculées pour tout intervalle granulométrique i par les relations suivantes·

efficacité réelle corrigée pour le premier étage de tamis DSM

$$CCP_i = \frac{CP_i - SP}{100 - SP} \times 100 \qquad (46)$$

efficacité réelle corrigée pour le second étage de tamis DSM

$$CCS_i = \frac{CS_i - SS}{100 - SS} \times 100 \qquad (47)$$

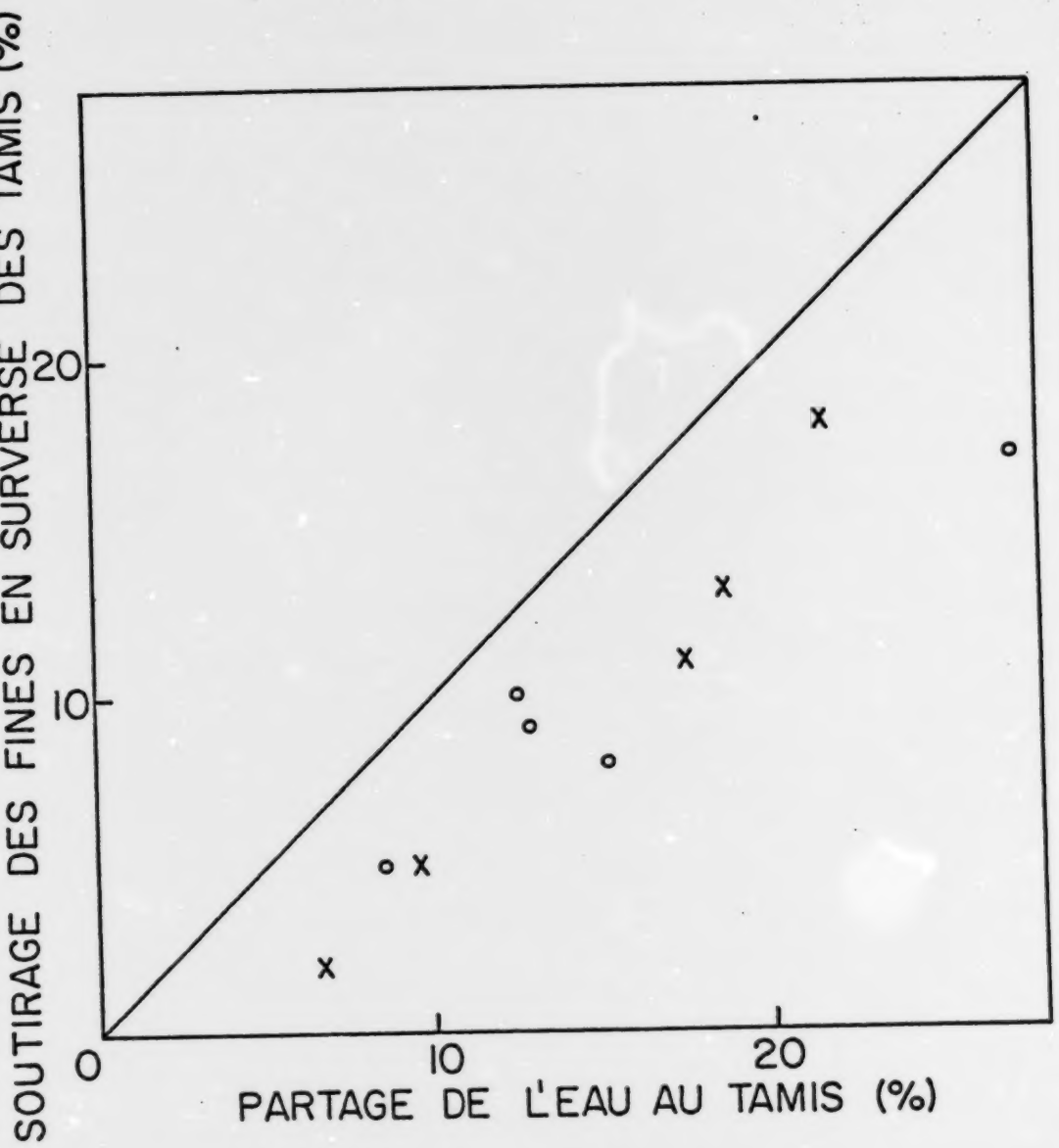


Figure 15 : Couplage entre le partage de l'eau et le soutirage des fines aux tamis DSM primaires (x) et secondaires (0) comparé au couplage hypothétique à 100% (bissectrice).

Les efficacités réelles sont calculées par le programme EFFICACITES énoncé dans l'annexe 4. Ce programme conversationnel calcule ensuite les efficacités corrigées avec les valeurs de soutirage estimées par l'utilisateur à partir des courbes d'efficacité réelle.

IV. Discussion

IV.a. Les variables microscopiques

- L'étude des résidus pour les analyses microscopiques (dernière colonne du tableau IX) permet de découvrir une classification des erreurs entre les différentes branches du circuit. La précision sur ces mesures décroît suivant la séquence suivante des branches: 4-3-9-8-10-7-6-11-2-5. Les mesures se rapportant à la surverse du classificateur à vis (branche 4) sont les plus précises. Les branches 3 et 9 sont de même précision; ceci ne permet pas de préférer l'un de ces points plutôt que l'autre pour l'échantillonnage de la décharge du broyeur à boulets. La surverse du classificateur à vis (branche 11), la décharge du broyeur à barres (branche 2) et l'alimentation du premier étage de tamis (branche 5) sont les branches les moins précises. A l'exception de la branche 4, la répartition des erreurs reste raisonnable et confirme grosso modo que nos hypothèses de travail sur les variances sont correctes et n'ont pas besoin d'être réajustées.

- La prise en compte d'une précision plus faible des mesures concernant le dernier intervalle granulométrique provoque des ajustements plus grands pour ces mesures comparativement aux autres tranches granulométriques (annexe 2). Nous avons comparé les valeurs corrigées obtenues par BILMAT, lorsque les variances de ce dernier intervalle

sont prises identiques à celles des autres intervalles ($k = 10^{-6}$ dans l'équation 37), avec les analyses de l'annexe 2 où la précision est plus faible. Il apparaît que cette hypothèse de travail sur le dernier intervalle n'affecte que très peu le résultat final des calculs de bilan matière.

- Dans nos hypothèses de travail, les écarts-types concernant les intervalles à faibles masses retenues sont sous-estimés car les erreurs observées après ajustement des données sont en général supérieures aux écarts-types choisis. Ces erreurs modifient cependant très peu les résultats finals.

- Les courbes de distribution granulométrique exprimées en pourcentages cumulatifs passant (annexe 3) confirment que les branches les mieux échantillonnées (branches 4-3-9-8) ne se différencient pratiquement pas des courbes non corrigées. Les courbes relatives aux branches les moins bien échantillonnées ont des grands ajustements (branches 2-5 et 11). Ces courbes en cumulés passant présentent alors des biais, étant entièrement déplacées soit vers le haut soit vers le bas par rapport aux courbes expérimentales.

- La production des fines particules dans la sousverse du second étage de tamis DSM est liée au débit de l'alimentation du circuit (figure 16) et à la granulométrie de cette alimentation (figure 17). La production des fines particules par le circuit (figure 16)

décroît lorsque le débit augmente. On voit aussi sur ces figures que la charge circulante augmente lorsque le débit est plus grand et la granulométrie d'alimentation plus grossière. Ces deux variables étant d'ailleurs liées l'une à l'autre.

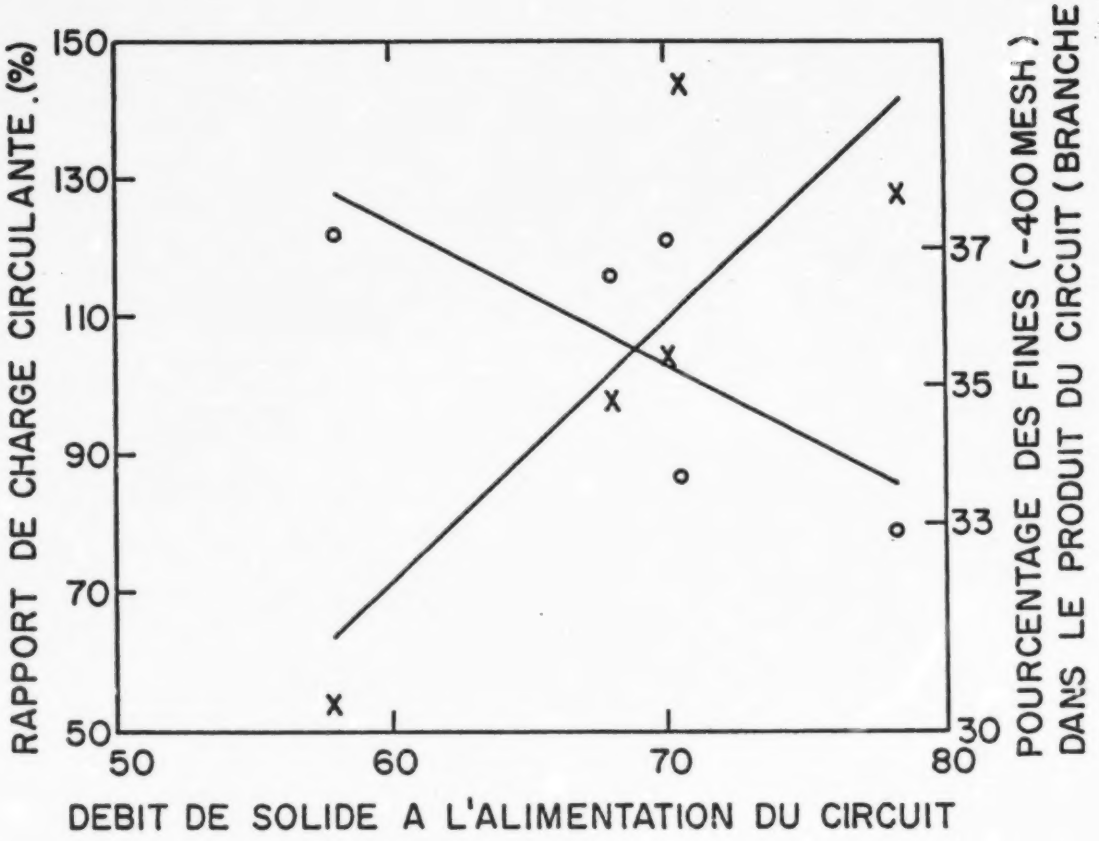


Figure 16 : Influence du débit de solide à l'alimentation du circuit sur le rapport de charge circulante au broyeur (x) et sur la production des fines (0).

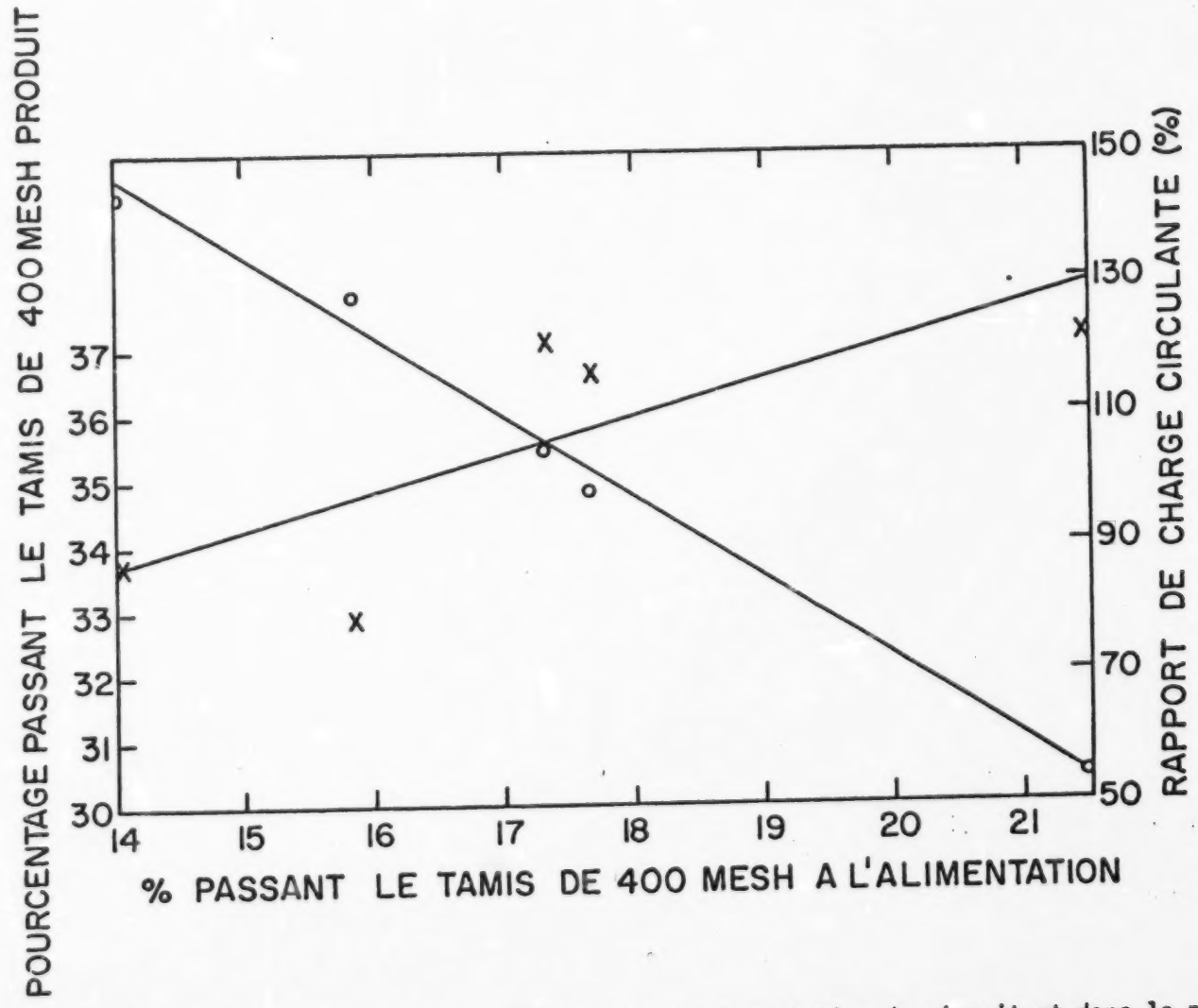


Figure 17 : Couplage entre les pourcentages des fines à l'alimentation du circuit et dans le produit du circuit (x) et influence de l'alimentation sur la charge circulante (0).

IV.b. Les variables macroscopiques

- Notre choix sur les précisions concernant les concentrations en solide mesurées est confirmé par la représentativité des analyses microscopiques, l'erreur d'échantillonnage supposée étant confirmée par l'analyse des résidus. La modification de la précision sur les variables macroscopiques affecte peu les résultats. La variable la plus sensible est la concentration en solide à l'alimentation du broyeur à boulets (branche 11). En surestimant la précision des variables macroscopiques en prenant une variance 500 fois plus faible que celle de l'annexe 2 (essai N° 2), cette fraction passe de 86% à 74% tandis que pour une variance 25 fois plus grande, la valeur de la fraction solide est de 90%. Cette variable est de loin la plus sensible au choix de l'erreur, son estimation reste donc imprécise.

- Les rapports de charge circulante à travers le broyeur à boulets (tableau V et VII) augmentent proportionnellement au débit de solide à l'alimentation du circuit (figure 16). La valeur maximum obtenue est de 145%, elle est inférieure à la valeur de 200% estimée par le personnel de l'usine pour les tamis DSM neufs {15}. Ceci laisse supposer qu'au moment de la campagne ces tamis étaient usés et fournissaient, surtout pour les plus basses valeurs, un produit grossier (figure 16). Ces tamis sont cependant suffisamment bons pour être encore utilisés car les rapports de charges circulantes sont encore dans les limites d'usure tolérée par l'usine.

IV.c. Les classificateurs

- Le classificateur à vis effectue une élimination des fines entraînées par les grosses particules dans la surverse des tamis DSM. La proportion de fines dans la surverse du classificateur à vis pourrait justifier d'envoyer cette pulpe directement au circuit de déschlammage. Cette machine sert aussi de décanteur pour épaissir la pulpe qui sera alimentée au broyeur à boulets car 90% de solide retourne au broyeur et 10% va en surverse.

- Les ouvertures des tamis DSM n'influencent pas le partage de l'eau aux deux étages. Le partage des solides est cependant influencé par ces ouvertures, il est de 2 pour 1 entre la surverse et la sousverse du premier étage et de 3 pour 1 pour le second étage de tamis.

- La figure 15 montre une tendance linéaire entre le partage de l'eau aux tamis DSM et le soutirage des finis dans leurs surverses. Nous chercherons à établir la relation qui lie ces deux paramètres lors de la modélisation de ces tamis.

- Les diamètres d'équicoupures sont indiqués pour chaque tamis sur les figures de l'annexe 4. Habituellement, ces diamètres se situent aux environs de 500 microns pour les tamis de 16 mesh et aux environs de 300 microns pour ceux de 28 mesh. Ce fonctionne-

ment ne se vérifie que pour l'essai N° 5 pour lequel les fractions massiques des alimentations des tamis sont les plus faibles comparativement aux autres essais. Cette influence de la dilution de la pulpe d'alimentation des tamis sera aussi élucidée lors de la modélisation de ces classificateurs.

V. Conclusions

Le circuit de fragmentation du concentrateur des services TMG a été étudié dans le but d'en construire un simulateur. Cinq régimes de ce circuit, différents par le débit de pulpe à l'alimentation du broyeur à barres, ont été observés. Les données collectées pendant ces cinq essais sont entachées d'erreurs de mesure et d'échantillonnage et sont redondantes. Elles ont été corrigées grâce à l'algorithme BILMAT qui les ajuste pour les rendre cohérentes au point de vue des équations de conservation de matière. Cet algorithme permet aussi d'évaluer les variables non mesurées telles que les débits d'eau ajoutée au circuit. La méthode des moindres carrés utilisée dans ce programme consiste à minimiser la somme des carrés pondérés des écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs ajustées. En traitant les débits relatifs de solide dans un algorithme superviseur, les valeurs des variables microscopiques (distributions granulométriques) sont corrigées de façon indépendante de la correction des variables macroscopiques (concentrations en solide et débit de pulpe).

Les contraintes du problème de minimisation du critère (somme des carrés pondérés des écarts entre toutes les valeurs mesurées et leurs valeurs corrigées) sont les équations de bilan. Elles s'écrivent sous une forme matricielle facile à traiter en décrivant le circuit sous forme de réseau de branches et de noeuds. La minimisation du critère microscopique s'obtient grâce à un algorithme qui fait usage

de multiplicateurs de Lagrange, la partition de la matrice des contraintes facilite les inversions des matrices et plusieurs variables peuvent ainsi être traitées aisément. La minimisation du critère macroscopique est obtenue grâce à l'algorithme de Powell qui est utilisé aussi pour l'algorithme superviseur, la convergence vers le minimum du critère est d'autant plus rapide que le nombre de variables indépendantes traitées par l'algorithme est petit.

Les ajustements sur les variables microscopiques permettent de découvrir une classification d'erreurs entre les branches du circuit. Les différences de précision observées montrent une répartition des erreurs compatibles avec les hypothèses faites et ne justifient pas de reprendre le calcul du bilan matière. Ceci est vrai aussi pour les variables macroscopiques.

La variable la plus sensible à la variation de cette précision est la fraction massique de solide à l'alimentation du broyeur à boulets.

Les courbes d'efficacité devront être affinées quand, dans une étude en essai pilote, nous établirons la relation entre le soutirage des fines en surverse et le partage de l'eau aux tamis.

Avec les résultats ainsi disponibles, nous modéliserons le broyeur à boulets et le classificateur à vis; ces études pourront compléter le projet de simulation du circuit de fragmentation de Niobec.

Références

1. Michel Robert: The Niobec Mill: Paper presented at the CMP Annual Meeting, January 24, 1978.

2. Raby, R., Gendron, L.A., Robert, M.: Niobec Inc., Milling Practice in Canada, CIM special volume 16, pp. 329-332.

3. Lynch, A.J.: Mineral Crushing and Grinding Circuits: their Simulation, Optimization and Control, Elsevier Sc. Pub. Co., 1977.

4. Hockings, W.A. and Callen, R.W.: Computer Program for Calculating Mass Balances of Continuous Process Streams. Paper presented at the 1977 AIME Fall Meeting, St. Louis, Missouri, Oct. 1977, Paper 77-B-372.

5. Hodouin, D. and Everell, M.D.: A Hierarchical Procedure for Adjustment and Material Balancing of Mineral Processing Data. Text submitted for publication in the International Journal of Mineral Processing. August 1979, Département de Mines et Métallurgie, Université Laval, Canada.

6. Hodouin, D. and Everell, M.D.: A Hierarchical Optimization Method for Adjustment of Industrial Grinding Data. Application to the Heath Steele Mines Circuit. Rapport de recherche 78-4, GRAAIM, juillet 1978.

7. Hodouin, D. and Everell, M.D.: A Hierarchical Optimization Procedure for Adjustment of Industrial Grinding Circuit Data. Outline of a presentation at the 108th AIME Annual Meeting, New Orleans, February 18/22, 1979.

8. White, J.W., Winslow, R.L. and Rossiter, G.T.: A Useful Technique for Metallurgical Mass Balances. Application in Grinding. Int. J. Min. Proc., Vol. 4, 1977, p. 39.

9. Anton, H.: Elementary Linear Algebra, John Wiley and Sons, 1977, pp. 8-18.

10. Wiegel, R.L.: Advances in Mineral Processing Material Balances. Can.Met.Quart., V. 11, 413, 1972.

11. Cutting, G.W.: Estimation of Interlocking Mass Balances on Complex Mineral Beneficiation Plants. Int. J. Min. Proc., v. 3, 207.

12. McMullen, J., Hodouin, D., Everell, M.D.: A New Technique for Simultaneous Computation of Material Balance and Cyclone Efficiencies, as applied to twenty Steady States of the Heath Steele Mines Grinding Circuit. Research Report 79-13, July 1979.

13. Hodouin, D., Bérubé, M.A., Everell, M.D.: Report on the Sampling Campaign performed on the Grinding Circuit of Heath Steele Mines Ltd. (N.B.), during March 1977. Report submitted to CANMET by GRAAIM, Laval University, July 1977.

14. Essis, K.: Etude de la Sensibilité d'un Simulateur de Circuit de Broyage aux Paramètres des Modèles et à leur Mode d'Estimation. Thèse de Maîtrise, Université Laval, avril 1979.

15. Grinding Circuit Survey: Rapport interne du concentrateur de Niobec, le 28 janvier 1977.

Annexe 1

Exemple d'utilisation du programme conversationnel BILMAT pour l'ajustement des données de l'essai N^{O} 1

```
 AJUSTEMENT DE DONNEES MINERALURGIQUES
          PAR BILAN-MATIERE

VOULEZ-VOUS DES EXPLICATIONS SUR LE PROGRAMME ? :     NON
VOULEZ-VOUS UTILISER LES MODULES D'ENTREE ? :      OUI
VOULEZ-VOUS DECRIRE LA STRUCTURE DES DONNEES ? :     OUI


AVEZ-VOUS DES MESURES DE DEBITS ? :      OUI
AVEZ-VOUS DES MESURES DE DENSITE DE PULPE ? :      OUI
AVEZ-VOUS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES ? :      OUI
FAITES SELON DIFFERENTES METHODES ? :      NON
AVEZ-VOUS DES MESURES DE TENEURS DE DIFFERENTES ESPECES CHIMIQUES ? :      NON


VOULEZ-VOUS DEFINIR LE RESEAU MACROSCOPIQUE ? :      OUI


NOMBRE DE NOEUDS DU RESEAU ? :      6
NOMBRE DE BRANCHES DU RESEAU ? :      14


NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  1
0:
      1 12
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 1
0:
      2
NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  2
0:
      2 3 4 13
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 2
0:
      5
```

```
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD  3
0:
      5
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 3
0:
      6 8
NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  4
0:
      6 8
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 4
0:
      4 7 11
NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  5
0:
      10 11
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 5
0:
      9
NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  6
0:
      9 14
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 6
0:
      3


          MATRICE DU RESEAU MACROSCOPIQUE

                1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
                0  1  1  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  1  0
                0  0  0  0  1 -1  0 -1  0  0  0  0  0  0
                0  0  0 -1  0  1 -1  1  0  0 -1  0  0  0
                0  0  0  0  0  0  0  0 -1  1  1  0  0  0
                0  0 -1  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  1


     ......RECHERCHE DES DEBITS DE PULPE ET DES DEBITS
           RELATIFS DE SOLIDE INDEPENDANTS

Y-A-T-IL DES BRANCHES OU CIRCULE SEULEMENT DE L'EAU ? :      OUI
NUMEROS DE CES BRANCHES ? :      10 12 13 14
NOMBRE DE NOEUDS OU CONVERGENT/DIVERGENT SEULEMENT DES BRANCHES D'EAU :      0


LES BRANCHES DES DEBITS DE PULPE INDEPENDANTS SONT :

                1 7 5 8 10 12 13 14
```

```
LES BRANCHES DES DEBITS DE SOLIDE INDEPENDANTS RELATIFS SONT :

                    3 5 8



VOULEZ-VOUS DEFINIR LES SOUS-RESEAUX DES ANALYSES ? :      OUI


*******CONSTRUCTION DU RESEAU DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES
NUMEROS DES BRANCHES UTILISEES :      2 3 4 5 6 7 8 9 11


NOMBRE DE NOEUDS DU RESEAU ? :      4
NOMBRE DE BRANCHES DU RESEAU ? :      9


NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  1
0:
       2 3 4
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 1
0:
       5
NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  2
0:
       5
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 2
0:
       6 8
NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  3
0:
       6 8
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 3
0:
       4 7 11
NUMEROS DES BRANCHES QUI CONVERGENT AU NOEUD  4
0:
       9
NUMEROS DES BRANCHES QUI DIVERGENT DU NOEUD 4
0:
       3
```

```
VOULEZ-VOUS ENTRER LES DONNEES EXPERIMENTALES ? :      OUI
AVEZ-VOUS DES MESURES DE DEBITS DE PULPE? : OUI
NUMEROS DES BRANCH ES CORRESPONDANT AUX MESURES : 1
VALEURS DE CES MESURES : 72.70
VARIANCES ASSOCIEES A CES MESURES : 0.25
AVEZ-VOUS DES MESURES DE DEBITS SOLIDES ? : NON
AVEZ-VOUS DES MESURES DE DEBITS D'EAU? : NON
NUMEROS DES BRANCHES CORRESPONDANT AUX MESURES DE DENSITE DE PULPE : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 11
VALEURS DE CES MESURES : IS1
VARIANCES ASSOCIEES A CES MESURES : 1÷PIS1
MATRICE DES GRANULOMETRIES (OU DE TYPE 1 SELON LE CAS : DG1
MATRICE DES VARIANCES ASSOCIEES : 1÷MPD1


VOULEZ-VOUS FAIRE L'ANALYSE DE REDONDANCE DE VOTRE PROBLEME ? :      NON


VOULEZ-VOUS DEFINIR LES VARIABLES DE CONTROLE ET
LES DONNEES POUR LES ALGORITHMES D'OPTIMISATION ? :      OUI

          CONTROLE DE L'ALGORITHME SUPERVISEUR

ESTIMES DES DEBITS DE SOLIDES RELATIVEMENT A CELUI DE LA
BRANCHE 1, POUR LES BRANCHES SUIVANTES : 3 5 8

****VOULEZ-VOUS ENTRER VOS PROPRES ESTIMES OU
    PREFEREZ-VOUS QU'ILS SOIENT CALCULES PAR
    LE PROGRAMME ? ( REPONDRE 1 OU 2 )      :1
VALEURS DES ESTIMES      :1.448 2.750 1.203
PRECISION SUR LES DEBITS RELATIFS INDEPENDANTS: 0.02 0.005 0.015
MODE D'IMPRESSION     (1,2,3)      ?: 1
VALEUR DE L'ESCALE?                : 1
NOMBRE D'ITERATIONS MAXIMUM: 10
PONDERATION ASSOCIEE A JMAC : 1
```

```
LA BRANCHE 1 CONTIENT-ELLE DE L'EAU?: OUI
ESTIME DU DEBIT SOLIDE DE LA BRANCHE 1: 70.52
PRECISION ASSOCIEE : 0.2
ESTIMES DES DEBITS DE PULPE DES BRANCHES: 1 3 5 8 10 12 13 14
0:
      72.70 165.31 600.39 172.69 9.34 19.61 197.97 2.7
PRECISIONS ASSOCIEES: 2 3 2 2 1 3 1 0.5
MODE D'IMPRESSION     (1,2,3,4)  ? : 4
VALEUR DE L'ESCALE  ?      : 1
NOMBRE MAXIMUM D'ITERATIONS?  : 15

   VALEUR MINIMALE DU CRITERE :  124.1953288

   VALEURS DES FONCTIONS MICROSCOPIQUES :  99.24876152

   VALEUR DE LA FONCTION MACROSCOPIQUE :  24.94642994

   VALEURS DES DEBITS RELATIFS DE SOLIDE :
   LIGNE    DEBIT
      1     1.000
      3     1.448
      5     2.749
      8     1.203
      9     1.448
      2     1.000
     11     1.448
      6     1.546
      4     0.301
      7     1.000



   VOULEZ-VOUS UN TABLEAU DES RESULTATS ? :      OUI
   COPIE DU 1979-08-29  23:32:24



   CHOISIR LE MODE D'IMPRESSION PARMI LES SUIVANTS  :
                1- RESULTATS MICRO ET MACRO
                2-RESULTATS MACRO SEULEMENT
                3- RESULTATS MICRO SEULEMENT

   MODE D'IMPRESSION ?     :1
```

Annexe 2

Résultats des calculs de bilan matière

Essai N° 1

VALEUR MINIMALE DU CRITERE : 124.1953288

VALEURS DES FONCTIONS MICROSCOPIQUES : 99.24876152

VALEUR DE LA FONCTION MACROSCOPIQUE : 24.94642994

VALEURS DES DEBITS RELATIFS DE SOLIDE :

LIGNE	DEBIT
1	1.000
3	1.448
5	2.749
8	1.203
9	1.448
2	1.000
11	1.448
6	1.546
4	0.301
7	1.000

RESULTATS MACROSCOPIQUES

LIGNE	DEBITS DE PULPE OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	DEBITS D'EAU OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	72.70	72.70	0.00	0.69	0.00	2.18	0.00	0.00
2	0.00	92.32	0.00	0.00	0.00	21.80	0.00	0.00
3	0.00	165.28	0.00	0.00	0.00	63.17	0.00	0.00
4	0.00	144.69	0.00	0.00	0.00	123.45	0.00	0.00
5	0.00	599.98	0.00	0.00	0.00	406.11	0.00	0.00
6	0.00	427.35	0.00	0.00	0.00	318.32	0.00	0.00
7	0.00	302.20	0.00	0.00	0.00	231.68	0.00	0.00
8	0.00	172.63	0.00	0.00	0.00	87.79	0.00	0.00
9	0.00	162.51	0.00	0.00	0.00	60.40	0.00	0.00
10	0.00	9.42	0.00	0.00	0.00	9.42	0.00	0.00
11	0.00	153.09	0.00	0.00	0.00	50.98	0.00	0.00
12	0.00	19.62	0.00	0.00	0.00	19.62	0.00	0.00
13	0.00	197.69	0.00	0.00	0.00	197.69	0.00	0.00
14	0.00	2.77	0.00	0.00	0.00	2.77	0.00	0.00

LIGNE	DEBITS DE SOLIDE OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	DENSITES DE PULPE OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	0.00	70.52	0.00	0.00	97.00	97.00	0.00	0.30
2	0.00	70.52	0.00	0.00	76.38	76.38	0.01	3.00
3	0.00	102.11	0.00	0.00	61.78	61.78	0.00	3.00
4	0.00	21.24	0.00	0.00	14.50	14.68	1.23	2.00
5	0.00	193.87	0.00	0.00	37.36	32.31	13.51	4.50
6	0.00	109.03	0.00	0.00	28.89	25.51	11.69	4.50
7	0.00	70.52	0.00	0.00	22.11	23.34	5.54	3.00
8	0.00	84.83	0.00	0.00	50.09	49.14	1.89	3.00
9	0.00	102.11	0.00	0.00	62.83	62.83	0.00	4.50
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	102.11	0.00	0.00	56.58	66.70	17.88	8.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RESULTATS MICROSCOPIQUES

ANALYSES GRANULOMETRIQUES
NUMERO DE LIGNE

2

OBS	CAL	AJST	ECTYP
7.39	6.17	16.44	5.35
6.77	6.45	4.75	5.48
9.88	9.51	3.79	5.01
9.46	9.35	1.13	5.06
9.04	9.23	2.07	5.11
7.05	7.26	3.05	5.42
7.67	8.00	4.27	5.30
6.10	6.30	3.27	5.64
5.91	6.13	3.76	5.69
5.32	5.44	2.23	5.88
5.33	5.33	0.05	5.88
3.11	3.06	1.59	7.22
3.73	3.74	0.33	6.68
13.24	14.03	5.96	6.72

3

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.36	0.18	50.12	31.78
0.38	0.27	29.21	30.32
0.81	0.68	15.73	16.35
1.48	1.34	9.41	10.76
3.02	2.88	4.66	7.31
5.53	5.34	3.42	5.81
12.82	12.88	0.44	4.78
16.96	17.22	1.52	4.59
15.00	15.30	2.00	4.67
11.04	11.04	0.02	4.91
8.37	8.29	1.00	5.19
3.77	3.81	1.07	6.65
5.02	4.92	1.98	5.99
15.44	15.85	2.67	6.57

4

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.10	0.09	11.19	104.00
0.09	0.08	9.35	115.11
0.08	0.08	4.07	129.00
0.26	0.26	0.07	42.46
0.50	0.50	0.46	24.00
0.83	0.84	1.51	16.05
4.03	4.08	1.34	6.48
12.81	12.96	1.18	4.78
8.10	8.12	0.21	5.23
13.41	13.45	0.27	4.75
59.79	59.54	0.42	5.89

5

OBS	CAL	AJST	ECTYP
1.68	2.34	39.33	9.95
1.92	2.49	29.54	9.21
3.26	3.82	17.09	7.07
3.64	4.12	13.13	6.75
4.37	4.88	11.71	6.29
5.06	5.46	7.98	5.98
9.21	9.72	5.53	5.09
11.08	11.42	3.03	4.90
10.85	10.38	4.31	4.92
8.77	8.24	6.02	5.14
8.18	7.72	5.60	5.22
4.13	4.01	2.92	6.42
5.75	5.43	5.63	5.74
22.10	19.98	9.62	6.30

6

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.36	0.37	3.64	31.78
1.16	1.17	0.66	12.62
2.88	2.84	1.24	7.47
7.95	7.73	2.72	5.26
12.10	11.65	3.71	4.83
13.25	12.24	7.65	4.75
11.59	10.81	6.75	4.86
10.90	10.75	1.36	4.92
5.66	5.73	1.20	5.77
7.61	7.83	2.90	5.31
26.54	28.87	8.80	6.19

7

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.19	0.16	17.36	56.63
0.54	0.51	5.09	22.52
2.90	2.84	2.10	7.45
7.42	7.34	1.11	5.35
11.49	11.80	2.74	4.87
12.30	13.02	5.84	4.81
12.78	13.53	5.83	4.78
7.06	7.34	3.97	5.42
9.52	9.69	1.77	5.05
35.76	33.74	5.66	6.05

8

OBS	CAL	AJST	ECTYP
5.05	5.35	5.92	5.98
5.79	5.68	1.83	5.73
8.53	8.72	2.26	5.17
8.73	8.93	2.30	5.15
9.54	9.65	1.21	5.05
8.91	8.83	0.89	5.12
12.54	12.27	2.14	4.80
11.36	11.11	2.18	4.88
8.33	8.00	3.98	5.20
5.10	4.94	3.08	5.96
3.84	3.83	0.31	6.60
1.78	1.80	1.17	9.62
2.29	2.34	2.03	8.37
8.21	8.54	3.98	7.38

9

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.17	0.18	5.64	62.82
0.23	0.27	16.96	47.48
0.63	0.68	8.34	19.07
1.27	1.34	5.57	11.87
2.77	2.88	3.94	7.61
5.13	5.34	4.11	5.95
12.51	12.88	2.93	4.80
17.03	17.22	1.11	4.59
15.04	15.30	1.73	4.66
11.03	11.04	0.11	4.91
8.54	8.29	2.97	5.17
4.07	3.81	6.38	6.46
4.95	4.92	0.58	6.02
16.63	15.85	4.67	6.51

11

OBS	CAL	AJST	ECTYP
4.63	4.44	4.01	6.16
4.91	4.72	3.82	6.04
7.51	7.25	3.50	5.33
8.13	7.80	4.06	5.23
9.76	9.14	6.32	5.02
10.30	10.00	2.87	4.97
16.63	16.44	1.15	4.60
16.06	16.50	2.75	4.62
10.56	11.38	7.79	4.95
5.36	5.81	8.35	5.87
2.45	2.62	7.12	8.08
0.78	0.85	9.57	16.82
0.77	0.81	5.81	16.99
2.15	2.21	3.01	12.23

EFFICACITES REELLES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
94.90	100.00
86.55	91.30
70.72	88.35
55.25	76.26
42.60	59.27
33.71	37.60
26.25	22.10
21.69	18.64
19.66	17.11
18.84	19.98
18.70	24.43

VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU PRIMAIRE ? : 18
VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU SECONDAIRE ? : 17

EFFICACITES CORRIGEES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
93.79	100.00
83.59	89.52
64.30	85.96
45.42	71.39
30.00	50.93
19.16	24.82
10.06	6.14
4.50	1.97
2.02	0.14
1.03	3.59
0.86	8.96

ERREUR-TYPE MOYENNE : 0.4699586783

ERREUR-TYPE MOYENNE RELATIVE (POURCENTS) :6.682327002

ERREUR-TYPE PAR BRANCHE

BRANCHE	ERREUR-TYPE	ERREUR-TYPE RELATIVE
2	0.45	5.60
3	0.19	9.78
4	0.08	4.25
5	0.76	11.76
6	0.76	4.20
7	0.64	5.95
8	0.21	2.87
9	0.28	6.43
11	0.38	5.77

.....MATRICE DE VARIANCE/COVARIANCE
DES DEBITS RELATIFS (x10000)
CALCULEE POUR LE(S) RESEAU(X) : 1

LIGNE :	2	3	4	5	6	7	8	9	11
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	19	5	24	15	0	9	19	19
	0	5	14	19	17	0	2	5	5
	0	24	19	43	32	0	11	24	24
	0	15	17	32	34	0	2	15	15
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	9	2	11	2	0	13	9	9
	0	19	5	24	15	0	9	19	19
	0	19	5	24	15	0	9	19	19

LIGNE	DEBIT	ECART TYPE	ECART TYPE RELATIF
2	1.0000	0.0000	0.0
3	1.4480	0.0432	3.0
4	0.3012	0.0373	12.4
5	2.7491	0.0653	2.4
6	1.5461	0.0582	3.8
7	1.0000	0.0000	0.0
8	1.2030	0.0365	3.0
9	1.4480	0.0432	3.0
11	1.4480	0.0432	3.0

Essai N° 2

VALEUR MINIMALE DU CRITERE : 335.4525637

VALEURS DES FONCTIONS MICROSCOPIQUES : 325.2436767

VALEUR DE LA FONCTION MACROSCOPIQUE : 10.20884667

VALEURS DES DEBITS RELATIFS DE SOLIDE :

LIGNE	DEBIT
1	1.000
3	0.980
4	0.136
8	0.804
9	0.980
2	1.000
11	0.980
5	2.116
10	1.116
6	1.312
7	1.000

RESULTATS MACROSCOPIQUES

LIGNE	DEBITS DE PULPE				DEBITS D'EAU			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	70.74	70.74	0.01	0.71	0.00	2.12	0.00	0.00
2	0.00	90.56	0.00	0.00	0.00	21.94	0.00	0.00
3	0.00	144.36	0.00	0.00	0.00	77.11	0.00	0.00
4	0.00	103.58	0.00	0.00	0.00	94.24	0.00	0.00
5	0.00	482.60	0.00	0.00	0.00	337.39	0.00	0.00
6	0.00	364.08	0.00	0.00	0.00	274.05	0.00	0.00
7	0.00	301.05	0.00	0.00	0.00	232.43	0.00	0.00
8	0.00	118.52	0.00	0.00	0.00	63.35	0.00	0.00
9	0.00	104.62	0.00	0.00	0.00	37.37	0.00	0.00
10	0.00	181.55	0.00	0.00	0.00	104.96	0.00	0.00
11	0.00	77.97	0.00	0.00	0.00	10.72	0.00	0.00
12	0.00	19.82	0.00	0.00	0.00	19.82	0.00	0.00
13	0.00	144.10	0.00	0.00	0.00	144.10	0.00	0.00
14	0.00	39.73	0.00	0.00	0.00	39.73	0.00	0.00
15	0.00	26.66	0.00	0.00	0.00	26.66	0.00	0.00

LIGNE	DEBITS DE SOLIDE				DENSITES DE PULPE			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	0.00	68.62	0.00	0.00	97.00	97.00	0.00	0.30
2	0.00	68.62	0.00	0.00	75.78	75.78	0.01	3.00
3	0.00	67.25	0.00	0.00	46.60	46.59	0.03	3.00
4	0.00	9.33	0.00	0.00	8.87	9.01	1.64	2.00
5	0.00	145.21	0.00	0.00	30.47	30.09	1.27	4.50
6	0.00	90.03	0.00	0.00	25.44	24.73	2.79	4.50
7	0.00	68.62	0.00	0.00	22.50	22.79	1.31	3.00
8	0.00	55.17	0.00	0.00	46.74	46.55	0.40	3.00
9	0.00	67.25	0.00	0.00	64.29	64.28	0.02	4.50
10	0.00	76.58	0.00	0.00	44.96	42.18	6.18	3.00
11	0.00	67.25	0.00	0.00	73.60	86.25	17.19	8.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RESULTATS MICROSCOPIQUES

ANALYSES GRANULOMETRIQUES
NUMERO DE LIGNE

2

OBS	CAL	AJST	ECTYP
4.41	3.87	12.18	6.27
5.36	4.93	8.02	5.87
9.02	8.28	8.25	5.11
9.58	8.98	6.29	5.04
9.58	9.06	5.47	5.04
7.55	7.15	5.28	5.32
8.16	8.03	1.65	5.23
6.65	6.64	0.09	5.50
6.09	6.30	3.46	5.64
5.37	5.68	5.81	5.86
5.45	5.84	7.24	5.83
3.01	3.22	6.86	7.32
3.99	4.34	8.81	6.51
15.78	17.68	12.05	6.55

3

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.03	0.00	100.00	337.33
0.34	0.18	46.83	33.41
0.49	0.31	36.77	24.41
0.87	0.68	21.40	15.49
1.81	1.62	10.23	9.52
3.66	3.38	7.60	6.73
9.75	9.38	3.83	5.03
14.72	14.65	0.47	4.68
15.12	15.19	0.48	4.66
11.89	12.38	4.08	4.84
9.90	10.34	4.48	5.01
4.51	4.72	4.58	6.22
6.03	6.33	4.94	5.66
20.88	20.83	0.22	6.33

4

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.03	0.01	57.65	337.33
0.03	0.02	43.20	337.33
0.03	0.02	35.80	337.33
0.04	0.03	19.36	254.00
0.06	0.06	1.93	170.67
0.13	0.13	1.12	80.92
0.27	0.28	4.05	41.04
1.30	1.33	2.45	11.69
8.14	8.38	2.97	5.23
8.06	8.27	2.61	5.24
13.98	14.17	1.38	4.72
67.93	67.29	0.94	5.87

5

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.83	1.83	120.52	16.05
1.45	2.41	66.45	10.90
2.77	4.06	46.41	7.61
3.55	4.56	28.46	6.82
4.07	5.03	23.67	6.46
4.55	4.95	8.75	6.20
7.95	8.14	2.38	5.26
10.16	9.93	2.23	4.98
10.48	10.03	4.27	4.95
9.17	8.50	7.28	5.09
8.87	8.09	8.78	5.13
4.68	4.24	9.49	6.14
6.74	5.89	12.56	5.48
24.73	22.33	9.70	6.23

6

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.12	0.07	39.57	87.33
0.12	0.10	18.02	87.33
0.26	0.27	3.59	42.46
1.13	1.14	1.24	12.85
2.45	2.56	4.55	8.08
6.56	6.69	1.97	5.52
9.97	10.12	1.50	5.00
12.43	11.77	5.27	4.80
11.24	10.91	2.96	4.89
11.06	10.95	1.00	4.90
5.95	5.79	2.75	5.68
8.13	8.22	1.08	5.23
30.58	31.41	2.71	6.12

7

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.09	0.04	56.78	115.11
0.18	0.14	22.06	59.56
0.40	0.39	2.26	29.00
2.36	2.39	1.40	8.24
6.17	6.34	2.74	5.62
10.94	11.46	4.75	4.91
12.42	12.61	1.54	4.81
13.38	13.20	1.31	4.75
6.86	6.97	1.60	5.46
10.16	9.84	3.17	4.98
37.04	36.62	1.14	6.04

8

OBS	CAL	AJST	ECTYP
4.82	4.82	0.06	6.07
6.58	6.23	5.26	5.52
10.85	10.51	3.11	4.92
11.41	11.56	1.34	4.88
11.25	11.38	1.16	4.89
8.50	8.84	4.03	5.18
10.34	10.51	1.60	4.97
9.54	9.63	0.95	5.05
7.36	7.19	2.33	5.36
4.63	4.58	1.14	6.16
3.44	3.43	0.34	6.91
1.73	1.71	1.41	9.78
2.09	2.10	0.52	8.78
7.46	7.51	0.72	7.55

9

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.11	0.18	64.36	94.91
0.22	0.31	40.82	49.45
0.59	0.68	15.90	20.95
1.56	1.62	4.15	10.41
3.35	3.38	0.95	6.99
9.55	9.38	1.82	5.05
15.41	14.65	4.92	4.65
15.18	15.19	0.08	4.66
12.36	12.38	0.12	4.81
10.23	10.34	1.11	4.98
4.72	4.72	0.07	6.12
6.21	6.33	1.90	5.61
20.48	20.80	1.58	6.35

10

OBS	CAL	AJST	ECTYP
3.42	3.47	1.47	6.92
4.43	4.58	3.30	6.26
7.48	7.69	2.80	5.34
8.30	8.61	3.76	5.20
9.05	9.42	4.06	5.10
8.61	9.03	4.90	5.16
13.08	13.29	1.59	4.76
13.19	13.16	0.26	4.76
9.66	8.75	9.39	5.04
5.64	4.82	14.52	5.77
4.03	3.51	12.90	6.48
1.93	1.79	7.45	9.18
2.35	2.36	0.39	8.26
8.83	9.53	7.92	7.26

11

OBS	CAL	AJST	ECTYP
5.64	3.95	29.93	5.77
6.18	5.21	15.67	5.62
10.21	8.75	14.25	4.98
10.79	9.80	9.13	4.93
11.42	10.72	6.11	4.88
10.25	10.28	0.30	4.98
13.83	15.12	9.36	4.72
13.32	14.96	12.33	4.75
8.44	9.93	17.64	5.18
4.52	5.31	17.37	6.21
2.48	2.83	14.27	8.03
0.76	0.89	16.64	17.16
0.70	0.72	2.81	18.29
1.46	1.51	3.68	15.34

EFFICACITES REELLES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
98.14	100.00
98.50	100.00
96.34	88.99
85.91	90.65
67.90	88.37
49.04	72.73
36.84	52.26
27.23	25.82
20.45	11.88
16.10	8.08
15.30	8.20
13.54	8.75
12.79	11.15

VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU PRIMAIRE ? : 13
VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU SECONDAIRE ? : 8

EFFICACITES CORRIGEES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
97.86	100.00
98.27	100.00
95.79	88.04
83.80	89.84
63.10	87.36
41.43	70.36
27.40	48.10
16.35	19.37
8.57	4.22
3.56	0.09
2.64	0.21
0.63	0.82
0.00	3.42

ERREUR-TYPE MOYENNE : 0.5546056429

ERREUR-TYPE MOYENNE RELATIVE (POURCENTS) :7.976979099

ERREUR-TYPE PAR BRANCHE

BRANCHE	ERREUR-TYPE	ERREUR-TYPE RELATIVE
2	0.68	7.59
3	0.27	7.43
4	0.21	5.69
5	1.03	12.24
6	0.32	5.68
7	0.23	6.46
8	0.19	2.32
9	0.24	4.85
10	0.46	7.14
11	1.06	14.73

.....MATRICE DE VARIANCE/COVARIANCE
DES DEBITS RELATIFS (×10000)
CALCULEE POUR LE(S) RESEAU(X) : 1

LIGNE :	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	6	0	7	4	0	3	6	7	6
	0	0	1	2	1	0	1	0	2	0
	0	7	2	8	5	0	4	7	8	7
	0	4	1	5	7	0	-2	4	5	4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	3	1	4	-2	0	6	3	4	3
	0	6	0	7	4	0	3	6	7	6
	0	7	2	8	5	0	4	7	8	7
	0	6	0	7	4	0	3	6	7	6

LIGNE	DEBIT	ECART TYPE	ECART TYPE RELATIF
2	1.0000	0.0000	0.0
3	0.9800	0.0251	2.6
4	0.1360	0.0106	7.8
5	2.1160	0.0290	1.4
6	1.3120	0.0261	2.0
7	1.0000	0.0000	0.0
8	0.8040	0.0243	3.0
9	0.9800	0.0251	2.6
10	1.1160	0.0290	2.6
11	0.9800	0.0251	2.6

Essai N° 3

VALEUR MINIMALE DU CRITERE : 166.975125

VALEURS DES FONCTIONS MICROSCOPIQUES : 160.218435

VALEUR DE LA FONCTION MACROSCOPIQUE : 6.757208068

VALEURS DES DEBITS RELATIFS DE SOLIDE :

LIGNE	DEBIT
1	1.000
3	1.047
4	0.059
8	0.608
9	1.047
2	1.000
11	1.047
5	2.106
10	1.106
6	1.498
7	1.000

RESULTATS MACROSCOPIQUES

LIGNE	DEBITS DE PULPE				DEBITS D'EAU			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	72.35	72.35	0.01	0.69	0.00	2.17	0.00	0.00
2	0.00	93.29	0.00	0.00	0.00	23.11	0.00	0.00
3	0.00	160.78	0.00	0.00	0.00	87.29	0.00	0.00
4	0.00	61.58	0.00	0.00	0.00	57.44	0.00	0.00
5	0.00	487.74	0.00	0.00	0.00	339.93	0.00	0.00
6	0.00	412.36	0.00	0.00	0.00	307.23	0.00	0.00
7	0.00	337.78	0.00	0.00	0.00	267.59	0.00	0.00
8	0.00	75.38	0.00	0.00	0.00	32.70	0.00	0.00
9	0.00	110.00	0.00	0.00	0.00	36.51	0.00	0.00
10	0.00	149.96	0.00	0.00	0.00	72.34	0.00	0.00
11	0.00	88.39	0.00	0.00	0.00	14.90	0.00	0.00
12	0.00	20.94	0.00	0.00	0.00	20.94	0.00	0.00
13	0.00	172.10	0.00	0.00	0.00	172.10	0.00	0.00
14	0.00	50.78	0.00	0.00	0.00	50.78	0.00	0.00
15	0.00	21.61	0.00	0.00	0.00	21.61	0.00	0.00

LIGNE	DEBITS DE SOLIDE				DENSITES DE PULPE			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	0.00	70.18	0.00	0.00	97.00	97.00	0.00	0.30
2	0.00	70.18	0.00	0.00	75.24	75.23	0.01	3.00
3	0.00	73.48	0.00	0.00	45.72	45.71	0.03	3.00
4	0.00	4.14	0.00	0.00	6.68	6.72	0.67	2.00
5	0.00	147.81	0.00	0.00	32.34	30.30	6.29	4.50
6	0.00	105.14	0.00	0.00	24.91	25.50	2.35	4.50
7	0.00	70.18	0.00	0.00	20.59	20.78	0.92	3.00
8	0.00	42.67	0.00	0.00	56.54	56.61	0.13	3.00
9	0.00	73.48	0.00	0.00	66.82	66.81	0.02	4.50
10	0.00	77.62	0.00	0.00	53.62	51.76	3.47	3.00
11	0.00	73.48	0.00	0.00	73.04	83.14	13.82	8.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RESULTATS MICROSCOPIQUES

ANALYSES GRANULOMETRIQUES

NUMERO DE LIGNE

2

OBS	CAL	AJST	ECTYP
5.32	4.84	9.04	5.88
5.38	5.05	6.13	5.86
8.91	7.94	10.84	5.12
8.97	8.36	6.86	5.11
9.43	8.78	6.93	5.06
7.28	7.12	2.26	5.37
8.20	8.30	1.22	5.22
6.67	6.81	2.17	5.50
6.25	6.47	3.48	5.60
5.53	5.71	3.28	5.81
5.70	5.88	3.23	5.75
3.15	3.26	3.36	7.17
4.00	4.15	3.82	6.50
15.21	17.33	13.96	6.59

3

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.14	0.08	44.62	75.43
0.18	0.12	35.80	59.56
0.37	0.34	8.93	31.03
0.84	0.81	3.25	15.90
2.02	1.94	3.74	8.95
4.02	4.03	0.13	6.49
10.34	10.50	1.54	4.97
15.32	15.48	1.07	4.65
14.55	14.58	0.21	4.69
11.37	11.33	0.33	4.88
9.63	9.67	0.47	5.04
4.61	4.56	1.08	6.17
6.17	6.15	0.36	5.62
20.44	20.41	0.16	6.35

4

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.06	0.06	7.46	170.67
0.06	0.06	8.07	170.67
0.08	0.08	6.15	129.00
0.09	0.08	5.92	115.11
0.07	0.07	6.74	146.86
0.09	0.09	3.73	115.11
0.11	0.11	1.61	94.91
0.10	0.10	1.13	104.00
0.22	0.22	1.24	49.45
1.45	1.46	0.37	10.90
3.72	3.74	0.47	6.69
12.96	13.04	0.59	4.77
80.99	80.92	0.09	5.83

5

OBS	CAL	AJST	ECTYP
1.44	2.34	62.25	10.94
1.91	2.46	28.64	9.24
3.11	3.94	26.73	7.22
3.74	4.37	16.94	6.67
4.54	5.14	13.13	6.20
5.00	5.38	7.63	6.00
8.69	9.16	5.44	5.15
10.48	10.94	4.36	4.95
10.71	10.32	3.62	4.93
8.61	8.35	2.99	5.16
8.22	7.64	7.00	5.22
4.42	3.92	11.36	6.26
5.79	5.39	6.85	5.73
23.34	20.64	11.55	6.26

6

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.31	0.34	11.02	36.26
1.34	1.46	8.97	11.46
3.12	3.42	9.58	7.21
7.82	8.67	10.90	5.28
11.84	12.44	5.07	4.84
12.39	12.62	1.88	4.81
10.69	10.77	0.74	4.94
9.85	10.10	2.56	5.02
4.92	5.21	5.97	6.03
6.73	7.19	6.89	5.49
30.99	27.76	10.42	6.11

7

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.13	0.10	21.91	80.92
0.20	0.17	17.28	54.00
0.31	0.26	15.28	36.26
2.28	2.14	6.20	8.39
6.43	6.18	3.89	5.56
11.50	11.37	1.13	4.87
12.73	12.66	0.56	4.79
13.07	13.16	0.67	4.77
7.05	7.04	0.11	5.42
10.21	9.78	4.25	4.98
36.09	37.15	2.93	6.05

8

OBS	CAL	AJST	ECTYP
9.45	8.09	14.36	5.06
8.66	8.51	1.73	5.15
13.91	13.65	1.86	4.72
14.02	14.30	2.00	4.71
13.53	14.19	4.90	4.74
9.75	10.22	4.79	5.03
9.98	10.37	3.93	5.00
7.19	7.23	0.60	5.39
4.67	4.65	0.33	6.14
2.41	2.40	0.54	8.15
1.59	1.59	0.06	10.29
0.71	0.72	2.09	18.08
0.94	0.96	1.87	14.64
3.19	3.11	2.66	10.09

9

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.09	0.08	13.86	115.11
0.11	0.12	5.05	94.91
0.39	0.34	13.60	29.64
0.87	0.81	6.58	15.49
2.02	1.94	3.74	8.95
4.23	4.03	4.84	6.36
10.98	10.50	4.38	4.91
15.93	15.48	2.80	4.63
14.50	14.58	0.55	4.69
11.23	11.33	0.92	4.89
9.68	9.67	0.05	5.03
4.47	4.56	2.02	6.24
6.04	6.15	1.79	5.66
19.46	20.41	4.87	6.38

10

OBS	CAL	AJST	ECTYP
5.09	4.45	12.59	5.96
4.75	4.68	1.51	6.11
7.49	7.50	0.20	5.34
8.03	8.24	2.56	5.25
9.31	9.63	3.44	5.07
9.63	10.01	3.95	5.04
15.13	15.51	2.54	4.66
14.92	15.24	2.13	4.67
9.83	9.38	4.62	5.02
4.80	4.46	7.11	6.08
2.81	2.66	5.34	7.56
1.19	1.09	8.16	12.40
1.55	1.43	7.65	10.45
5.47	5.72	4.58	8.24

11

OBS	CAL	AJST	ECTYP
4.18	4.70	12.43	6.39
4.93	4.94	0.18	6.03
7.78	7.92	1.86	5.29
8.89	8.70	2.19	5.12
10.61	10.17	4.16	4.94
11.37	10.57	7.03	4.88
17.63	16.38	7.07	4.57
15.99	16.09	0.63	4.63
9.01	9.90	9.86	5.11
4.23	4.70	11.05	6.36
2.48	2.73	9.99	8.03
0.82	0.94	15.10	16.20
0.69	0.78	12.68	18.49
1.39	1.48	6.70	15.83

EFFICACITES REELLES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
94.40	80.31
79.78	92.44
54.81	94.87
32.68	83.54
19.09	66.84
13.02	39.87
8.28	21.53
6.00	13.06
5.34	9.83
5.13	9.29
4.34	10.67

VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU PRIMAIRE ? : 5
VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU SECONDAIRE ? : 9

EFFICACITES CORRIGEES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
94.11	78.36
78.71	91.69
52.43	94.37
29.14	81.91
14.83	63.56
8.44	33.93
3.46	13.77
1.05	4.46
0.36	0.92
0.13	0.32
0.00	1.84

ERREUR-TYPE MOYENNE : 0.5502026762

ERREUR-TYPE MOYENNE RELATIVE (POURCENTS) :7.428176846

ERREUR-TYPE PAR BRANCHE

BRANCHE	ERREUR-TYPE	ERREUR-TYPE RELATIVE
2	0.72	6.78
3	0.08	2.90
4	0.03	4.46
5	0.93	13.82
6	0.96	7.02
7	0.33	9.17
8	0.47	4.76
9	0.33	6.46
10	0.33	5.90
11	0.54	8.91

.....MATRICE DE VARIANCE/COVARIANCE
DES DEBITS RELATIFS (x10000)
CALCULEE POUR LE(S) RESEAU(X) : 1

LIGNE :	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	7	0	7	5	0	3	7	7	7
	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
	0	7	1	8	5	0	3	7	8	7
	0	5	1	5	6	0	1	5	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	3	0	3	1	0	3	3	3	3
	0	7	0	7	5	0	3	7	7	7
	0	7	1	8	5	0	3	7	8	7
	0	7	0	7	5	0	3	7	7	7

LIGNE	DEBIT	ECART TYPE	ECART TYPE RELATIF
2	1.0000	0.0000	0.0
3	1.0470	0.0265	2.5
4	0.0590	0.0070	11.9
5	2.1060	0.0282	1.3
6	1.4980	0.0238	1.6
7	1.0000	0.0000	0.0
8	0.6080	0.0184	3.0
9	1.0470	0.0265	2.5
10	1.1060	0.0282	2.6
11	1.0470	0.0265	2.5

Essai N° 4

**********FIN DE LA MINIMISATION DU CRITERE D'AJUSTEMENT

VALEUR MINIMALE DU CRITERE : 312.9541259

VALEURS DES FONCTIONS MICROSCOPIQUES : 307.6086712

VALEUR DE LA FONCTION MACROSCOPIQUE : 5.345494201

VALEURS DES DEBITS RELATIFS DE SOLIDE :

LIGNE	DEBIT
1	1.000
3	1.280
4	0.096
8	1.005
9	1.280
2	1.000
11	1.280
5	2.376
10	1.376
6	1.371
7	1.000

RESULTATS MACROSCOPIQUES

LIGNE	DEBITS DE PULPE				DEBITS D'EAU			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	80.77	80.77	0.00	0.62	0.00	2.42	0.00	0.00
2	0.00	102.06	0.00	0.00	0.00	23.71	0.00	0.00
3	0.00	184.55	0.00	0.00	0.00	84.26	0.00	0.00
4	0.00	74.46	0.00	0.00	0.00	66.94	0.00	0.00
5	0.00	475.84	0.00	0.00	0.00	289.68	0.00	0.00
6	0.00	346.34	0.00	0.00	0.00	238.92	0.00	0.00
7	0.00	287.11	0.00	0.00	0.00	208.76	0.00	0.00
8	0.00	129.50	0.00	0.00	0.00	50.76	0.00	0.00
9	0.00	143.50	0.00	0.00	0.00	43.21	0.00	0.00
10	0.00	188.73	0.00	0.00	0.00	80.92	0.00	0.00
11	0.00	114.27	0.00	0.00	0.00	13.98	0.00	0.00
12	0.00	21.29	0.00	0.00	0.00	21.29	0.00	0.00
13	0.00	114.77	0.00	0.00	0.00	114.77	0.00	0.00
14	0.00	41.05	0.00	0.00	0.00	41.05	0.00	0.00
15	0.00	29.23	0.00	0.00	0.00	29.23	0.00	0.00

LIGNE	DEBITS DE SOLIDE				DENSITES DE PULPE			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	0.00	78.35	0.00	0.00	97.00	97.00	0.00	0.30
2	0.00	78.35	0.00	0.00	76.77	76.77	0.00	3.00
3	0.00	100.29	0.00	0.00	54.36	54.34	0.03	3.00
4	0.00	7.52	0.00	0.00	10.05	10.10	0.51	2.00
5	0.00	186.16	0.00	0.00	38.20	39.12	2.42	4.50
6	0.00	107.42	0.00	0.00	33.12	31.02	6.35	4.50
7	0.00	78.35	0.00	0.00	26.89	27.29	1.48	3.00
8	0.00	78.74	0.00	0.00	61.42	60.80	1.00	3.00
9	0.00	100.29	0.00	0.00	69.90	69.89	0.01	4.50
10	0.00	107.81	0.00	0.00	58.35	57.12	2.10	3.00
11	0.00	100.29	0.00	0.00	78.55	87.77	11.74	8.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RESULTATS MICROSCOPIQUES

ANALYSES GRANULOMETRIQUES

NUMERO DE LIGNE

2

OBS	CAL	AJST	ECTYP
10.44	8.79	15.77	4.96
7.86	6.78	13.70	5.27
10.16	9.17	9.76	4.98
8.58	8.05	6.13	5.17
8.15	8.09	0.74	5.23
6.30	6.44	2.19	5.59
6.96	7.39	6.21	5.44
5.96	6.26	5.10	5.68
5.44	5.85	7.63	5.84
4.79	5.18	8.16	6.09
4.88	5.23	7.26	6.05
2.75	2.88	4.69	7.64
3.71	4.01	8.10	6.70
14.02	15.86	13.10	6.67

3

OBS	CAL	AJST	ECTYP
1.01	0.79	21.75	13.90
1.18	0.92	22.34	12.47
1.92	1.69	12.09	9.21
2.74	2.53	7.65	7.65
4.71	4.39	6.76	6.12
6.99	6.82	2.45	5.43
13.80	13.77	0.22	4.72
15.25	15.45	1.33	4.66
12.62	13.17	4.37	4.79
8.74	9.13	4.44	5.14
7.52	7.82	3.95	5.33
3.35	3.50	4.54	6.99
4.61	4.75	2.95	6.17
15.56	15.28	1.82	6.57

4

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.03	0.01	54.41	337.33
0.11	0.09	13.90	94.91
0.17	0.16	5.87	62.82
0.18	0.17	4.41	59.56
0.17	0.17	2.18	62.82
0.16	0.16	1.23	66.50
0.17	0.17	0.05	62.82
0.18	0.18	0.39	59.56
0.24	0.24	1.41	45.67
0.48	0.49	1.11	24.83
3.01	3.03	0.61	7.32
5.60	5.61	0.18	5.79
15.42	15.37	0.35	4.65
74.08	74.15	0.10	5.85

5

OBS	CAL	AJST	ECTYP
2.27	4.13	81.82	8.41
2.19	3.35	53.08	8.57
3.43	4.77	39.20	6.92
3.75	4.76	26.93	6.67
4.91	5.78	17.67	6.04
5.96	6.39	7.21	5.68
10.22	10.54	3.09	4.98
10.99	10.97	0.19	4.91
10.25	9.57	6.63	4.98
7.65	7.12	6.96	5.31
7.15	6.54	8.58	5.40
3.70	3.33	10.14	6.70
5.47	4.87	11.05	5.83
22.06	17.90	18.86	6.30

6

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.09	0.09	3.48	115.11
0.10	0.11	12.60	104.00
0.22	0.24	8.13	49.45
1.35	1.38	2.39	11.41
3.48	3.58	2.96	6.87
8.91	9.18	3.08	5.12
12.37	12.54	1.41	4.81
12.64	12.74	0.83	4.79
10.46	10.34	1.14	4.96
9.88	9.92	0.45	5.01
4.95	5.06	2.32	6.02
7.36	7.51	2.03	5.36
28.19	27.28	3.21	6.16

7

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.17	0.11	36.18	62.82
0.13	0.09	30.47	80.92
0.52	0.47	8.89	23.23
1.24	1.19	4.25	12.06
4.63	4.40	5.00	6.16
9.22	8.93	3.18	5.08
13.11	12.50	4.67	4.76
12.28	11.84	3.59	4.81
12.41	12.12	2.34	4.81
6.25	6.29	0.68	5.60
9.47	9.14	3.45	5.06
30.57	32.92	7.69	6.12

8

OBS	CAL	AJST	ECTYP
10.60	9.76	7.95	4.94
7.90	7.81	1.18	5.27
10.98	11.13	1.41	4.91
10.71	10.93	2.05	4.93
11.56	11.77	1.84	4.87
9.97	10.22	2.49	5.00
12.16	12.38	1.81	4.82
8.81	8.82	0.09	5.14
5.25	5.24	0.21	5.90
2.75	2.72	1.04	7.64
1.92	1.91	0.31	9.21
0.94	0.95	1.26	14.64
1.25	1.26	0.69	12.00
5.20	5.10	1.98	8.38

9

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.79	0.79	0.05	16.66
0.90	0.92	1.82	15.11
1.71	1.69	1.29	9.85
2.61	2.53	3.05	7.83
4.38	4.39	0.26	6.28
6.91	6.82	1.32	5.45
13.49	13.77	2.07	4.74
15.59	15.45	0.88	4.64
12.98	13.17	1.48	4.77
8.98	9.13	1.65	5.11
7.80	7.82	0.22	5.28
3.64	3.50	3.79	6.75
4.64	4.75	2.29	6.16
15.58	15.28	1.95	6.56

10

OBS	CAL	AJST	ECTYP
7.36	7.13	3.17	5.36
5.51	5.79	5.06	5.81
8.36	8.17	2.32	5.20
8.07	8.15	1.04	5.24
9.87	9.63	2.41	5.01
10.18	10.17	0.10	4.98
15.24	15.00	1.60	4.66
12.41	12.45	0.34	4.81
7.67	7.44	2.97	5.30
3.79	3.69	2.73	6.64
2.55	2.48	2.80	7.92
1.12	1.17	4.31	12.93
1.61	1.76	9.11	10.21
6.26	6.98	11.53	7.92

11

OBS	CAL	AJST	ECTYP
9.61	7.66	20.29	5.04
7.03	6.22	11.58	5.42
9.12	8.77	3.88	5.10
8.90	8.75	1.66	5.12
10.05	10.34	2.90	5.00
10.56	10.92	3.42	4.95
15.53	16.11	3.73	4.64
12.48	13.37	7.15	4.80
7.42	7.98	7.58	5.35
3.67	3.93	6.99	6.72
2.26	2.44	7.85	8.42
0.79	0.84	5.72	16.66
0.78	0.74	5.65	16.82
1.80	1.94	8.00	13.51

EFFICACITES REELLES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
98.50	100.00
98.64	29.72
97.12	72.28
86.19	75.00
67.64	75.83
49.70	65.07
34.01	48.10
23.16	28.48
16.17	16.49
12.39	10.93
12.11	9.38
10.94	11.19
12.04	11.99

VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU PRIMAIRE ? : 11
VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU SECONDAIRE ? : 10

EFFICACITES CORRIGEES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
98.32	100.00
98.47	21.91
96.76	69.20
84.49	72.22
63.64	73.15
43.49	61.19
25.85	42.33
13.66	20.53
5.81	7.21
1.56	1.03
1.25	0.00
0.00	1.32
1.17	2.21

ERREUR-TYPE MOYENNE : 0.6303230889

ERREUR-TYPE MOYENNE RELATIVE (POURCENTS) :6.870402413

ERREUR-TYPE PAR BRANCHE

BRANCHE	ERREUR-TYPE	ERREUR-TYPE RELATIVE
2	0.85	9.10
3	0.28	10.07
4	0.03	4.45
5	1.46	11.92
6	0.28	4.68
7	0.70	4.33
8	0.27	2.64
9	0.15	1.95
10	0.26	4.88
11	0.70	8.53

.....MATRICE DE VARIANCE/COVARIANCE
DES DEBITS RELATIFS (×10000)
CALCULEE POUR LE(S) RESEAU(X) : 1

LIGNE :	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	13	1	13	7	0	7	13	13	13
	0	1	1	2	1	0	1	1	2	1
	0	13	2	15	8	0	7	13	15	13
	0	7	1	8	9	0	-1	7	8	7
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	7	1	7	-1	0	9	7	-7	7
	0	13	1	13	7	0	7	13	13	13
	0	13	2	15	8	0	7	13	15	13
	0	13	1	13	7	0	7	13	13	13

LIGNE	DEBIT	ECART TYPE	ECART TYPE RELATIF
2	1.0000	0.0000	0.0
3	1.2800	0.0357	2.8
4	0.0960	0.0098	10.2
5	2.3760	0.0387	1.6
6	1.3710	0.0302	2.2
7	1.0000	0.0000	0.0
8	1.0050	0.0295	2.9
9	1.2800	0.0357	2.8
10	1.3760	0.0387	2.8
11	1.2800	0.0357	2.8

Essai N° 5

VALEUR MINIMALE DU CRITERE : 164.1386042

VALEURS DES FONCTIONS MICROSCOPIQUES : 163.3219285

VALEUR DE LA FONCTION MACROSCOPIQUE : 0.8167843437

VALEURS DES DEBITS RELATIFS DE SOLIDE :

LIGNE	DEBIT
1	1.000
3	0.549
4	0.033
8	0.359
9	0.549
2	1.000
11	0.549
5	1.582
10	0.582
6	1.223
7	1.000

RESULTATS MACROSCOPIQUES

LIGNE	DEBITS DE PULPE				DEBITS D'EAU			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	60.35	60.34	0.01	0.83	0.00	1.81	0.00	0.00
2	0.00	80.24	0.00	0.00	0.00	21.71	0.00	0.00
3	0.00	97.17	0.00	0.00	0.00	65.03	0.00	0.00
4	0.00	40.02	0.00	0.00	0.00	38.09	0.00	0.00
5	0.00	397.81	0.00	0.00	0.00	305.21	0.00	0.00
6	0.00	356.72	0.00	0.00	0.00	285.14	0.00	0.00
7	0.00	319.31	0.00	0.00	0.00	260.78	0.00	0.00
8	0.00	41.09	0.00	0.00	0.00	20.07	0.00	0.00
9	0.00	51.73	0.00	0.00	0.00	19.60	0.00	0.00
10	0.00	78.50	0.00	0.00	0.00	44.43	0.00	0.00
11	0.00	38.47	0.00	0.00	0.00	6.34	0.00	0.00
12	0.00	19.90	0.00	0.00	0.00	19.90	0.00	0.00
13	0.00	180.38	0.00	0.00	0.00	180.38	0.00	0.00
14	0.00	45.44	0.00	0.00	0.00	45.44	0.00	0.00
15	0.00	13.26	0.00	0.00	0.00	13.26	0.00	0.00

LIGNE	DEBITS DE SOLIDE				DENSITES DE PULPE			
	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.	OBS.	CAL.	AJST.	EC.TYP.
1	0.00	58.53	0.00	0.00	97.00	97.00	0.00	0.30
2	0.00	58.53	0.00	0.00	72.95	72.95	0.00	3.00
3	0.00	32.14	0.00	0.00	33.05	33.07	0.07	3.00
4	0.00	1.93	0.00	0.00	4.81	4.83	0.34	2.00
5	0.00	92.60	0.00	0.00	22.94	23.28	1.47	4.50
6	0.00	71.59	0.00	0.00	20.15	20.07	0.41	4.50
7	0.00	58.53	0.00	0.00	18.40	18.33	0.37	3.00
8	0.00	21.01	0.00	0.00	51.14	51.15	0.01	3.00
9	0.00	32.14	0.00	0.00	62.15	62.12	0.05	4.50
10	0.00	34.07	0.00	0.00	44.10	43.40	1.59	3.00
11	0.00	32.14	0.00	0.00	79.62	83.52	4.90	8.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RESULTATS MICROSCOPIQUES

ANALYSES GRANULOMETRIQUES
NUMERO DE LIGNE

2

OBS	CAL	AJST	ECTYP
1.84	1.65	10.28	9.43
2.72	2.42	11.09	7.68
6.00	5.29	11.78	5.67
7.62	6.99	8.27	5.31
9.51	9.04	4.98	5.05
8.30	7.72	7.03	5.20
9.81	8.98	8.50	5.02
7.71	7.53	2.39	5.30
7.53	7.57	0.56	5.33
6.22	6.42	3.15	5.61
6.29	6.57	4.49	5.59
3.09	3.25	5.20	7.24
4.72	5.11	8.19	6.12
18.64	21.48	15.21	6.42

3

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.00	0.00	-100.00	0.00
0.05	0.03	44.99	204.00
0.04	0.02	39.76	254.00
0.16	0.15	7.41	66.50
0.56	0.54	2.71	21.86
3.23	3.18	1.58	7.10
7.93	7.81	1.54	5.26
13.72	13.61	0.80	4.73
14.05	13.76	2.04	4.71
14.39	14.14	1.76	4.69
6.85	6.97	1.76	5.46
9.77	9.96	1.94	5.02
29.25	29.83	1.98	6.14

4

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.04	0.04	9.21	254.00
0.02	0.02	24.30	504.00
0.04	0.03	13.46	254.00
0.04	0.04	9.61	254.00
0.04	0.04	6.99	254.00
0.05	0.05	4.89	204.00
0.08	0.08	1.75	129.00
0.11	0.11	0.66	94.91
0.19	0.19	1.40	56.63
0.25	0.25	1.91	44.00
0.65	0.66	1.33	19.38
1.90	1.92	0.91	9.26
11.08	11.24	1.41	4.90
85.51	85.34	0.19	5.82

5

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.68	1.04	53.58	18.71
1.05	1.53	45.62	13.52
2.40	3.36	39.84	8.17
3.68	4.43	20.31	6.72
4.44	5.76	29.82	6.25
4.54	5.07	11.62	6.20
6.49	6.78	4.45	5.54
7.72	7.47	3.25	5.30
9.92	9.51	4.10	5.01
9.26	8.84	4.57	5.08
9.65	9.07	5.97	5.04
4.66	4.51	3.14	6.15
7.45	6.92	7.13	5.34
28.06	25.71	8.39	6.16

6

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
2.41	2.26	6.42	8.15
3.12	3.21	2.76	7.21
5.81	6.14	5.68	5.72
7.90	8.17	3.40	5.27
11.07	11.24	1.50	4.90
10.71	10.86	1.41	4.93
11.28	11.36	0.75	4.89
5.80	5.67	2.29	5.72
8.83	8.71	1.36	5.13
33.07	32.39	2.05	6.08

7

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
1.14	1.05	7.98	12.77
1.43	1.40	2.13	10.99
3.48	3.53	1.36	6.87
5.79	6.01	3.84	5.73
9.97	10.36	3.88	5.00
11.22	11.34	1.07	4.89
12.53	12.63	0.78	4.80
6.43	6.45	0.28	5.56
10.23	10.02	2.01	4.98
37.78	37.22	1.49	6.03

8

OBS	CAL	AJST	ECTYP
4.93	4.60	6.65	6.03
6.68	6.74	0.87	5.50
14.67	14.79	0.82	4.68
18.78	19.51	3.88	4.53
18.61	17.72	4.80	4.54
11.28	11.41	1.15	4.89
8.79	8.95	1.86	5.14
5.05	5.08	0.69	5.98
3.64	3.65	0.15	6.75
1.94	1.94	0.14	9.15
1.27	1.27	0.01	11.87
0.59	0.58	1.11	20.95
0.82	0.82	0.53	16.20
2.95	2.94	0.40	10.45

9

OBS	CAL	AJST	ECTYP
0.00	0.00	100.00	0.00
0.00	0.00	100.00	0.00
0.05	0.03	44.99	204.00
0.04	0.02	39.76	254.00
0.16	0.15	7.41	66.50
0.57	0.54	4.42	21.54
3.28	3.18	3.08	7.05
7.96	7.81	1.92	5.26
13.85	13.61	1.73	4.72
13.53	13.76	1.73	4.74
13.78	14.14	2.59	4.73
6.98	6.97	0.14	5.43
9.77	9.96	1.94	5.02
30.03	29.83	0.67	6.13

10

OBS	CAL	AJST	ECTYP
2.64	2.84	7.52	7.79
4.18	4.16	0.57	6.39
9.06	9.12	0.70	5.10
11.68	12.03	3.03	4.86
13.40	13.87	3.48	4.75
10.89	11.37	4.41	4.92
12.07	12.36	2.44	4.83
10.12	9.97	1.46	4.99
8.65	8.06	6.77	5.16
5.06	4.54	10.34	5.98
3.42	2.97	13.19	6.92
1.38	1.19	13.73	11.25
1.79	1.58	11.58	9.59
5.66	5.93	4.80	8.16

11

OBS	CAL	AJST	ECTYP
3.05	3.01	1.41	7.28
4.61	4.41	4.45	6.17
10.70	9.67	9.63	4.93
13.80	12.76	7.57	4.72
15.62	14.70	5.91	4.64
12.25	12.05	1.62	4.82
12.62	13.10	3.83	4.79
9.76	10.56	8.24	5.02
7.66	8.54	11.46	5.31
4.26	4.79	12.54	6.35
2.70	3.11	15.10	7.70
0.97	1.15	18.24	14.31
0.86	1.00	16.57	15.63
1.14	1.16	1.58	18.06

EFFICACITES REELLES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
69.75	61.97
51.09	64.31
29.97	53.03
15.45	39.82
8.70	24.63
4.99	14.63
3.18	9.15
2.93	6.97
2.68	5.90
2.59	6.05

VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU PRIMAIRE ? : 2
VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU SECONDAIRE ? : 5

EFFICACITES CORRIGEES

EFFICACITE PRIMAIRE	EFFICACITE SECONDAIRE
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
100.00	100.00
69.13	59.97
50.09	62.43
28.55	50.56
13.72	36.65
6.83	20.67
3.05	10.13
1.20	4.37
0.95	2.08
0.69	0.95
0.61	1.11

ERREUR-TYPE MOYENNE : 0.4847051785

ERREUR-TYPE MOYENNE RELATIVE (POURCENTS) :6.830650204

ERREUR-TYPE PAR BRANCHE

BRANCHE	ERREUR-TYPE	ERREUR-TYPE RELATIVE
2	0.91	8.52
3	0.21	2.57
4	0.06	8.92
5	0.90	11.34
6	0.24	2.89
7	0.21	2.88
8	0.34	2.64
9	0.16	2.84
10	0.36	7.74
11	0.64	10.44

.....MATRICE DE VARIANCE/COVARIANCE
DES DEBITS RELATIFS (x10000)
CALCULEE POUR LE(S) RESEAU(X) : 1

LIGNE :	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	2	0	2	1	0	1	2	2	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	2	0	2	1	0	1	2	2	2
	0	1	0	1	2	0	0	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
	0	2	0	2	1	0	1	2	2	2
	0	2	0	2	1	0	1	2	2	2
	0	2	0	2	1	0	1	2	2	2

LIGNE	DEBIT	ECART TYPE	ECART TYPE RELATIF
2	1.0000	0.0000	0.0
3	0.5490	0.0144	2.6
4	0.0330	0.0038	11.6
5	1.5820	0.0154	1.0
6	1.2230	0.0132	1.1
7	1.0000	0.0000	0.0
8	0.3590	0.0113	3.1
9	0.5490	0.0144	2.6
10	0.5820	0.0154	2.7
11	0.5490	0.0144	2.6

Annexe 3

Représentation graphique des distributions granulométriques de l'essai N° 2

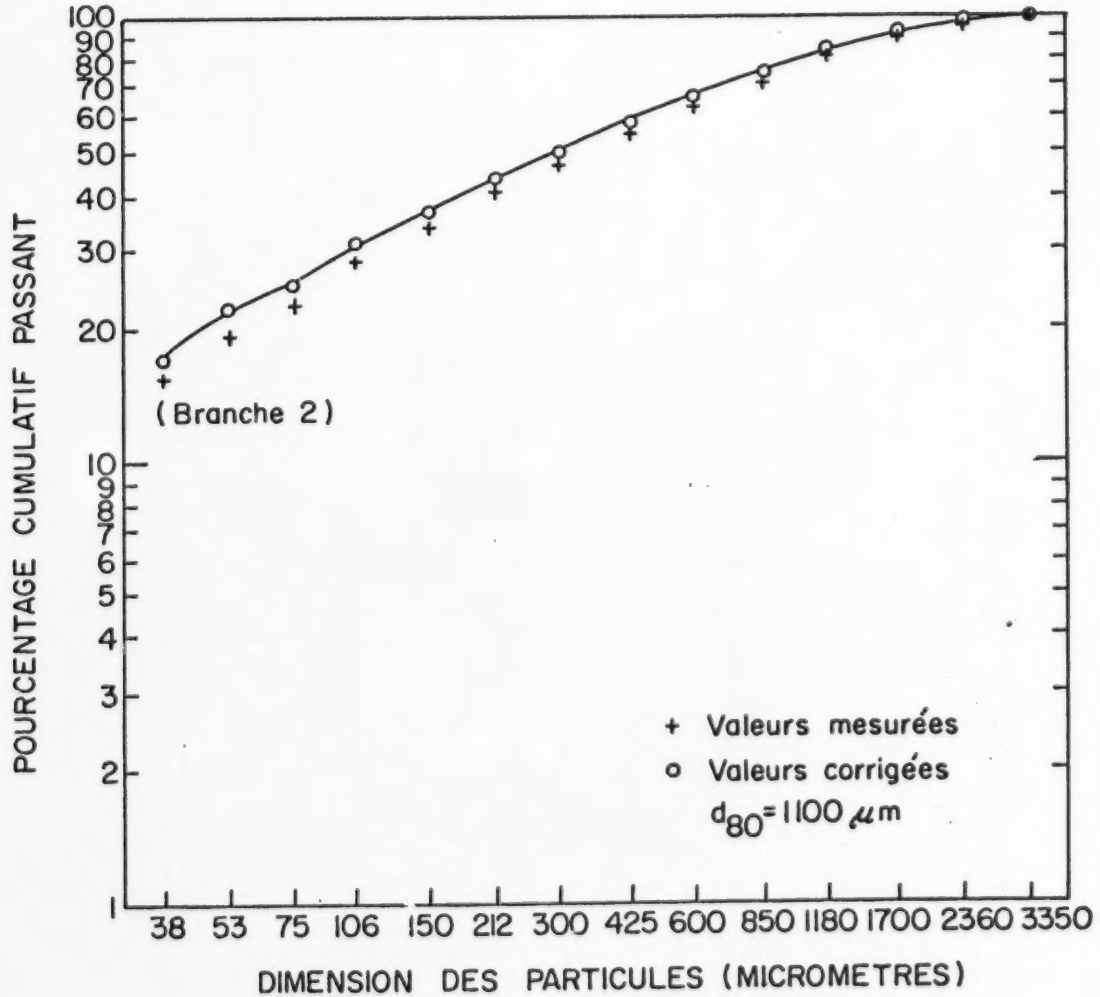


Figure 18 : Distribution granulométrique de la décharge du broyeur à barres (essai N° 2).

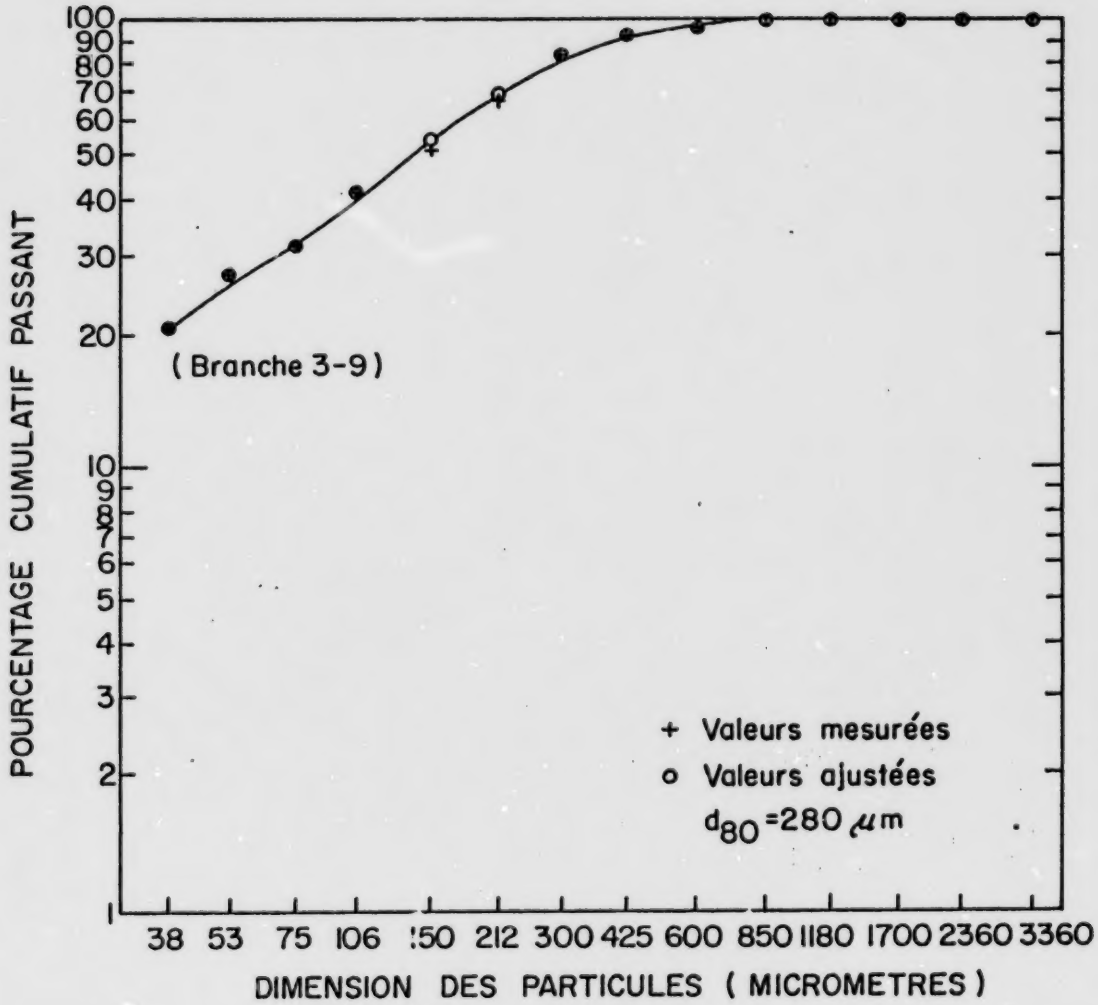


Figure 19 : Distributions granulométriques de la décharge du broyeur à boulets (essai N° 2).

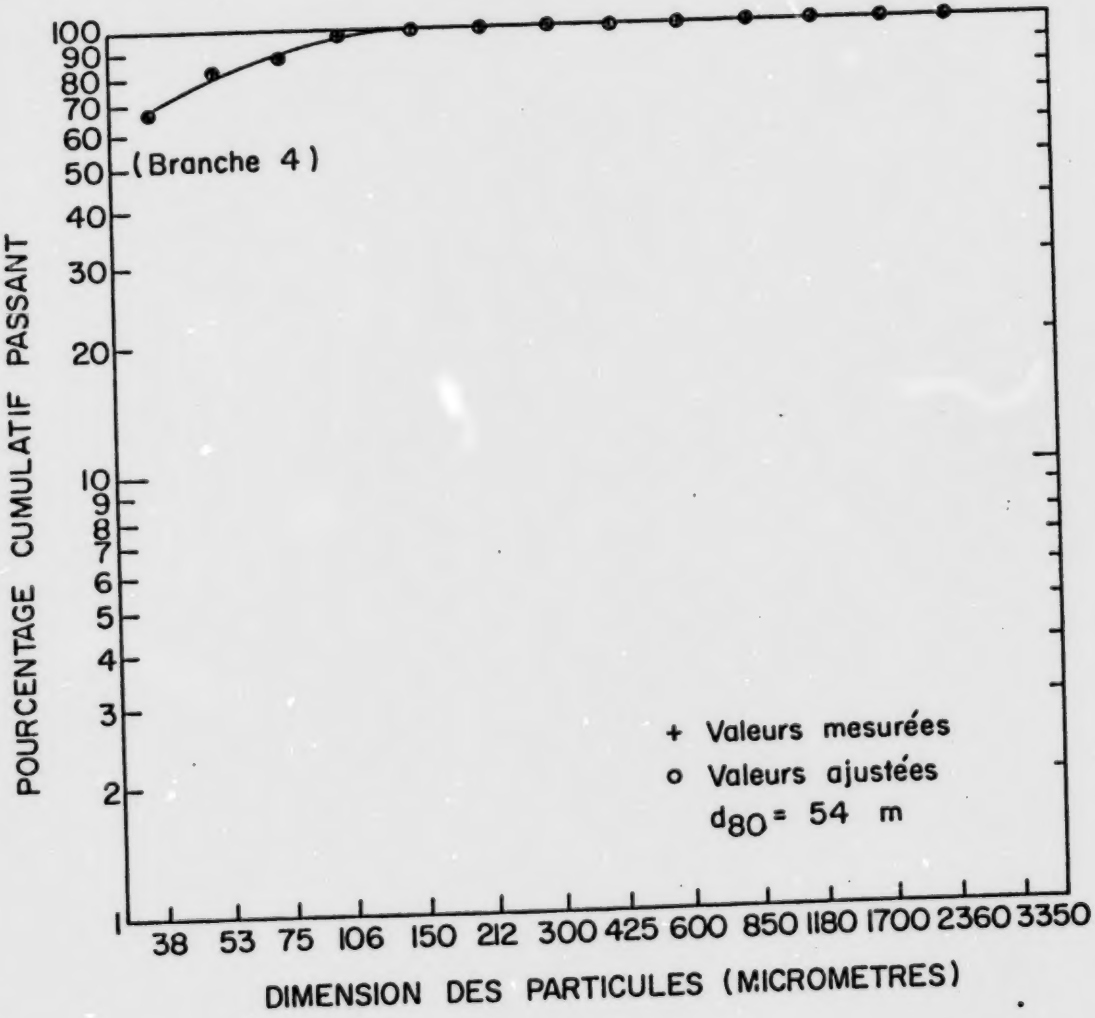


Figure 20 : Distribution granulométrique de la surverse du classificateur à vis (essai N° 2).

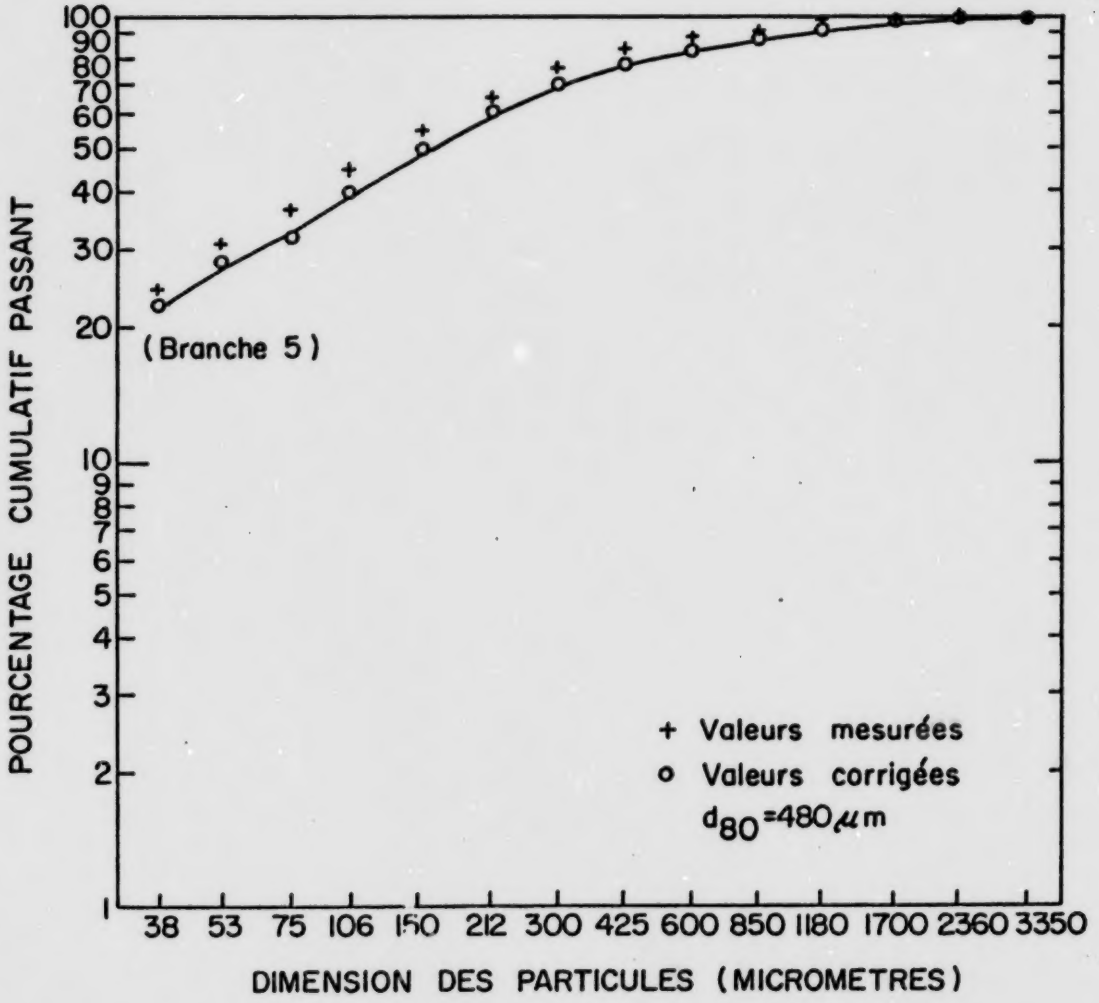


Figure 21: Distribution granulométrique de l'alimentation du premier étage des tamis DSM (essai N° 2).

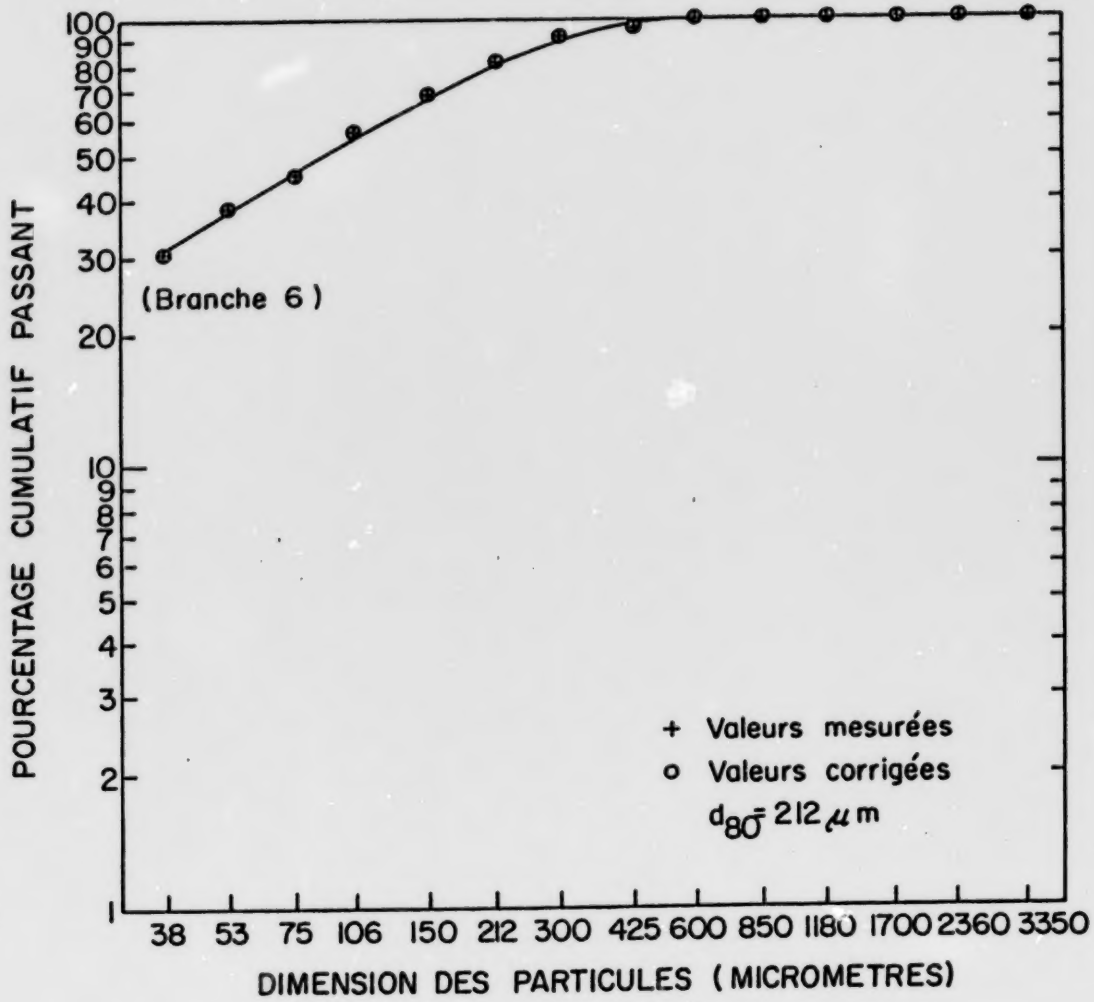


Figure 22 : Distribution granulométrique de la sousverse du premier étage des tamis DSM (essai N° 2).

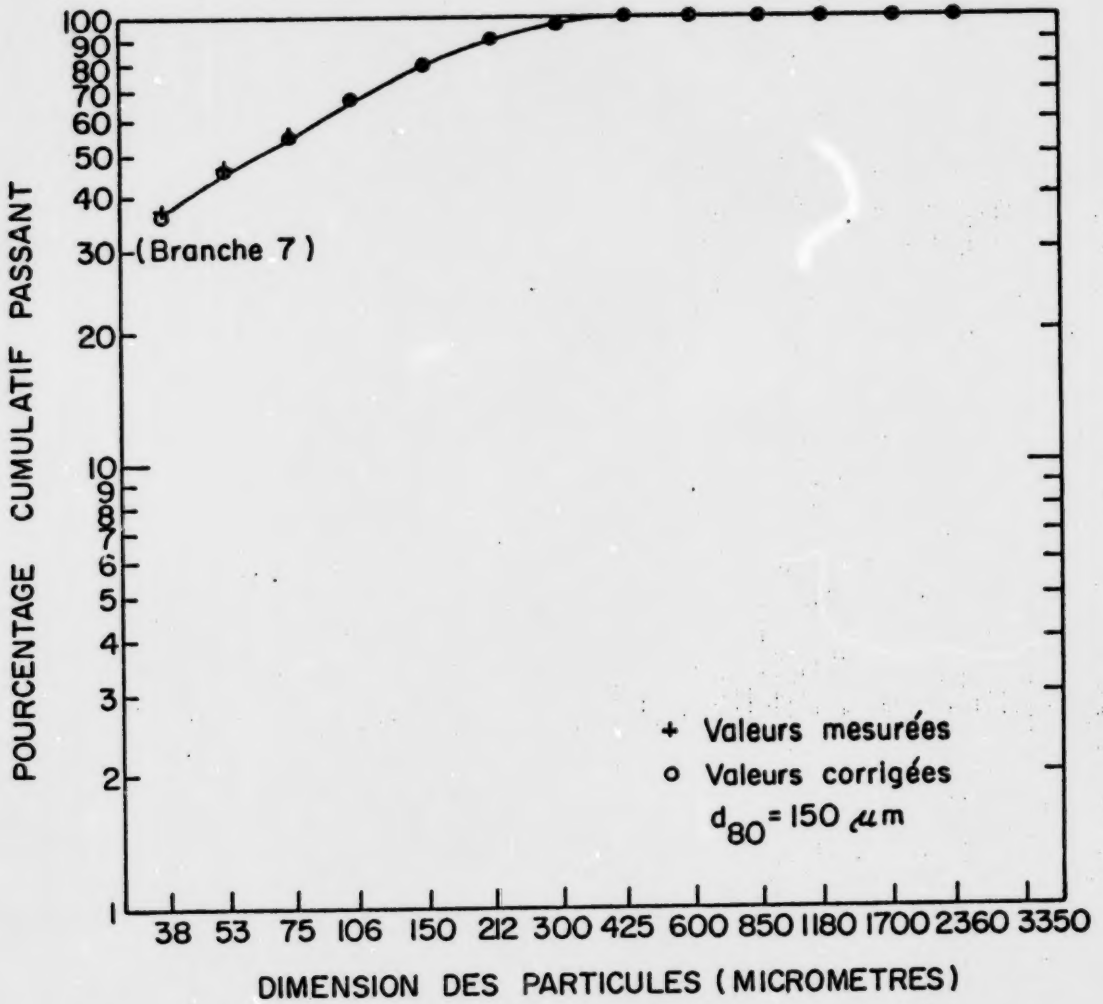


Figure 23 : Distribution granulométrique de la sousverse du second étage des tamis DSM (essai N° 2).

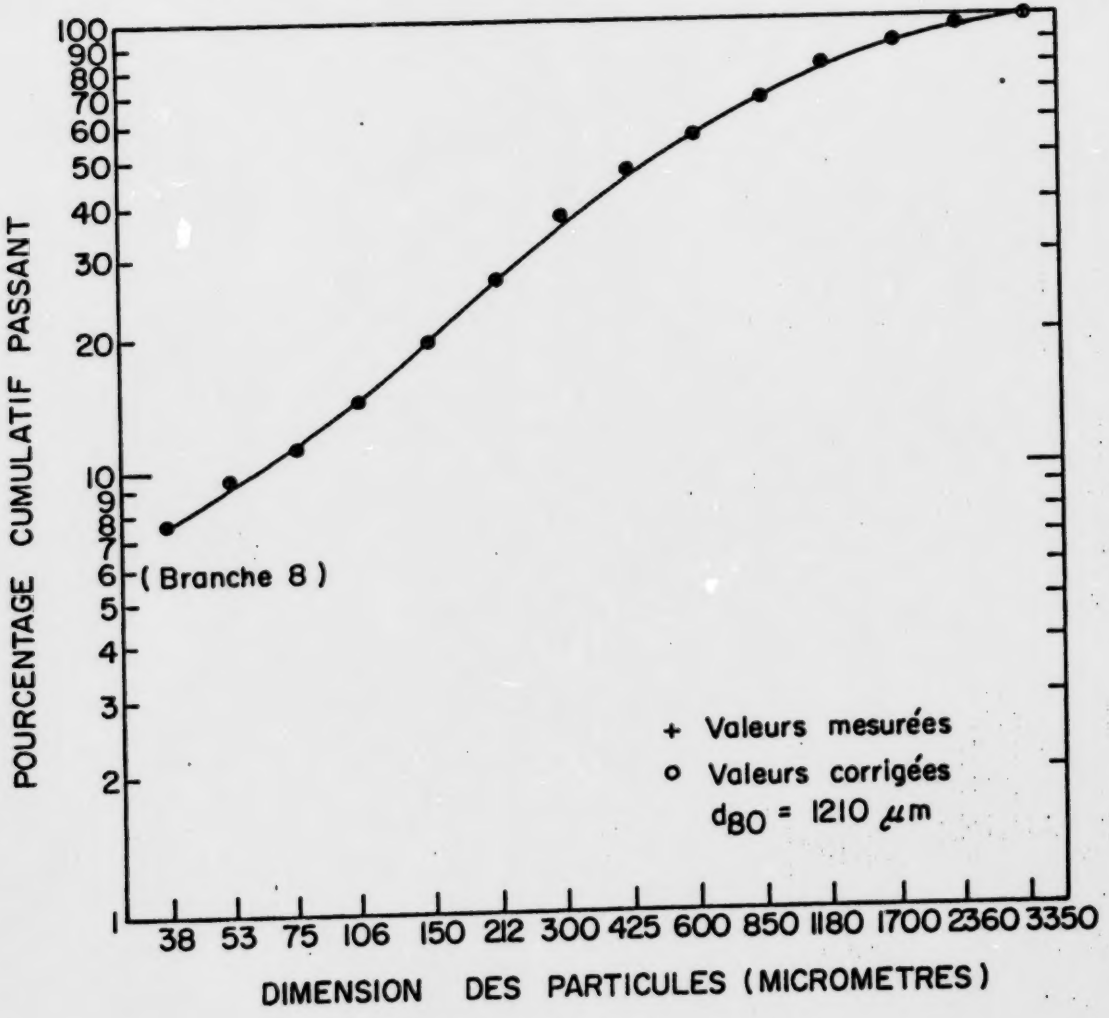


Figure 24 : Distribution granulométrique de la surverse du premier étage de tamis DSM (essai N° 2).

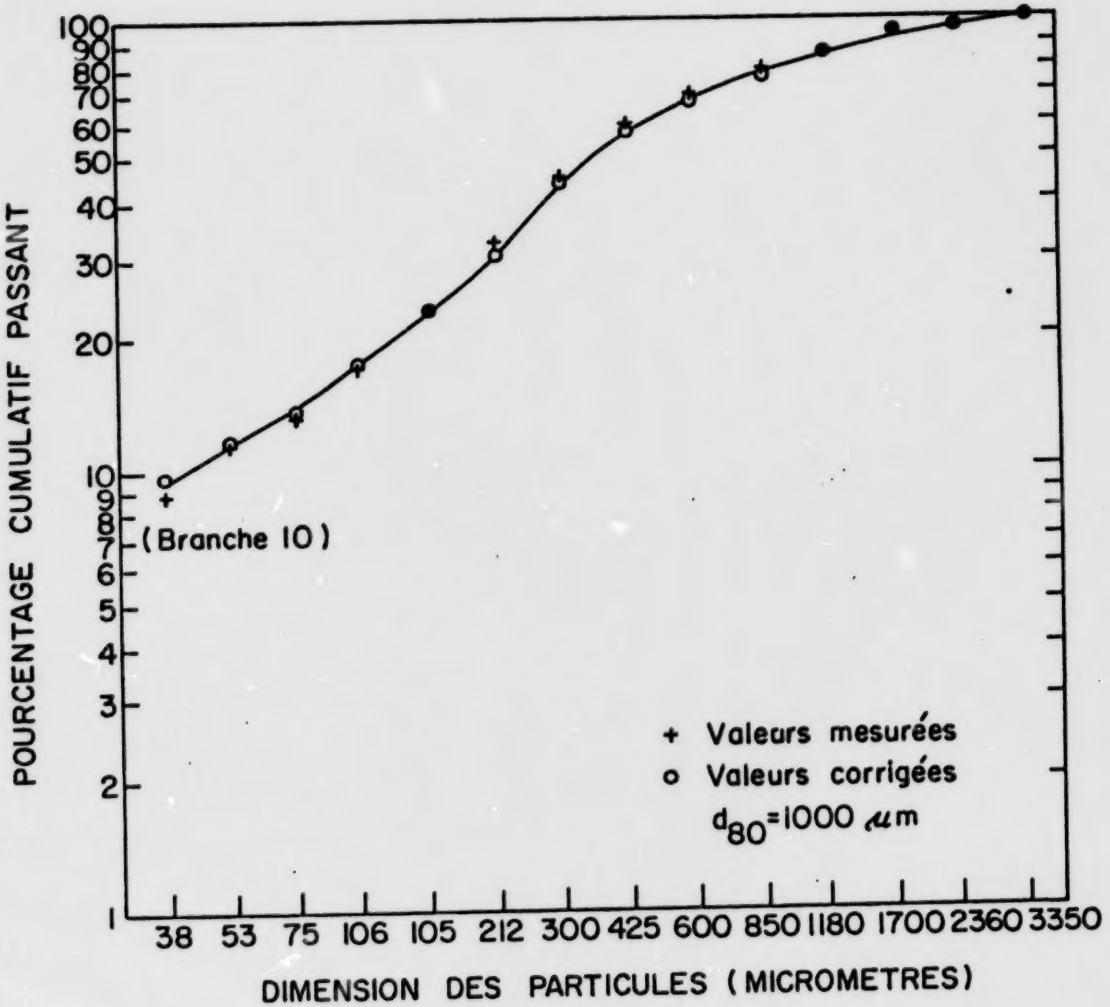


Figure 25 : Distribution granulométrique de l'alimentation du classificateur à vis (essai N° 2).

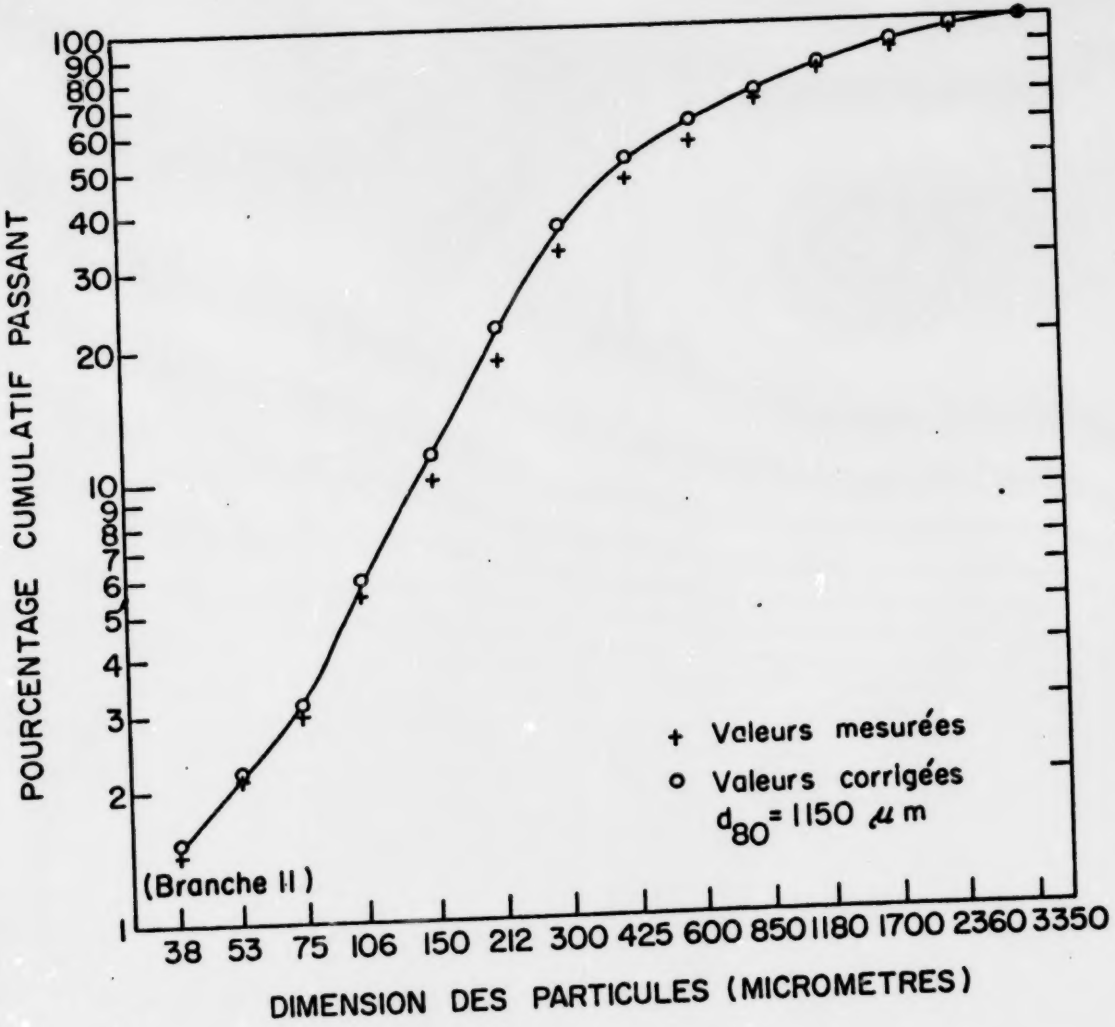


Figure 26 : Distribution granulométrique de l'alimentation du broyeur à boulets (essai N° 2).

Annexe 4

Enoncé du programme EFFICACITES et courbes d'efficacités des tamis DSM pour les cinq essais

```
      ▼EFFICACITES[0]▼
    ▼ EFFICACITES;CP;CCP;SP;CS;CCS;SS
[1]   CR
[2]   CP←(DS[VIC\8]×DGC[;VS1\8])÷(DS[VIC\5]×DGC[;VS1\5])
[3]   CS←((DS[VIC\6]×DGC[;VS1\6])-(DS[VIC\7]×DGC[;VS1\7]))÷(DS[VIC\6]×DGC[;VS1\6])
[4]   CP←(CP×100)L100
[5]   CP←CP÷100
[6]   CS←(CS×100)L100
[7]   CS←CS÷100
[8]   CR;'EFFICACITES REELLES'
[9]   CR;'   EFFICACITE PRIMAIRE   EFFICACITE SECONDAIRE'
[10]  CR;CR;'F20.2'⎕FMT(100×CP;100×CS)
[11]  SP←⍎⍞REP'VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU PRIMAIRE ? : '
[12]  SS←⍎⍞REP'VALEUR DU SOUTIRAGE EN POURCENT AU SECONDAIRE ? : '
[13]  CCP←100×((CP×100)-SP)÷(100-SP)
[14]  CCS←100×((CS×100)-SS)÷(100-SS)
[15]  CR;CR;CR
[16]  CR;'EFFICACITES CORRIGEES'
[17]  CR;'   EFFICACITE PRIMAIRE   EFFICACITE SECONDAIRE'
[18]  CCP←CCP⌈0
[19]  CCS←CCS⌈0
[20]  'F20.2'⎕FMT(CCP;CCS)
[21]  CR
[22]  CPP←CP
[23]  CSS←CS
[24]  CCPP←CCP
[25]  CCSS←CCS
[26]  3⍴CR
    ▼
```

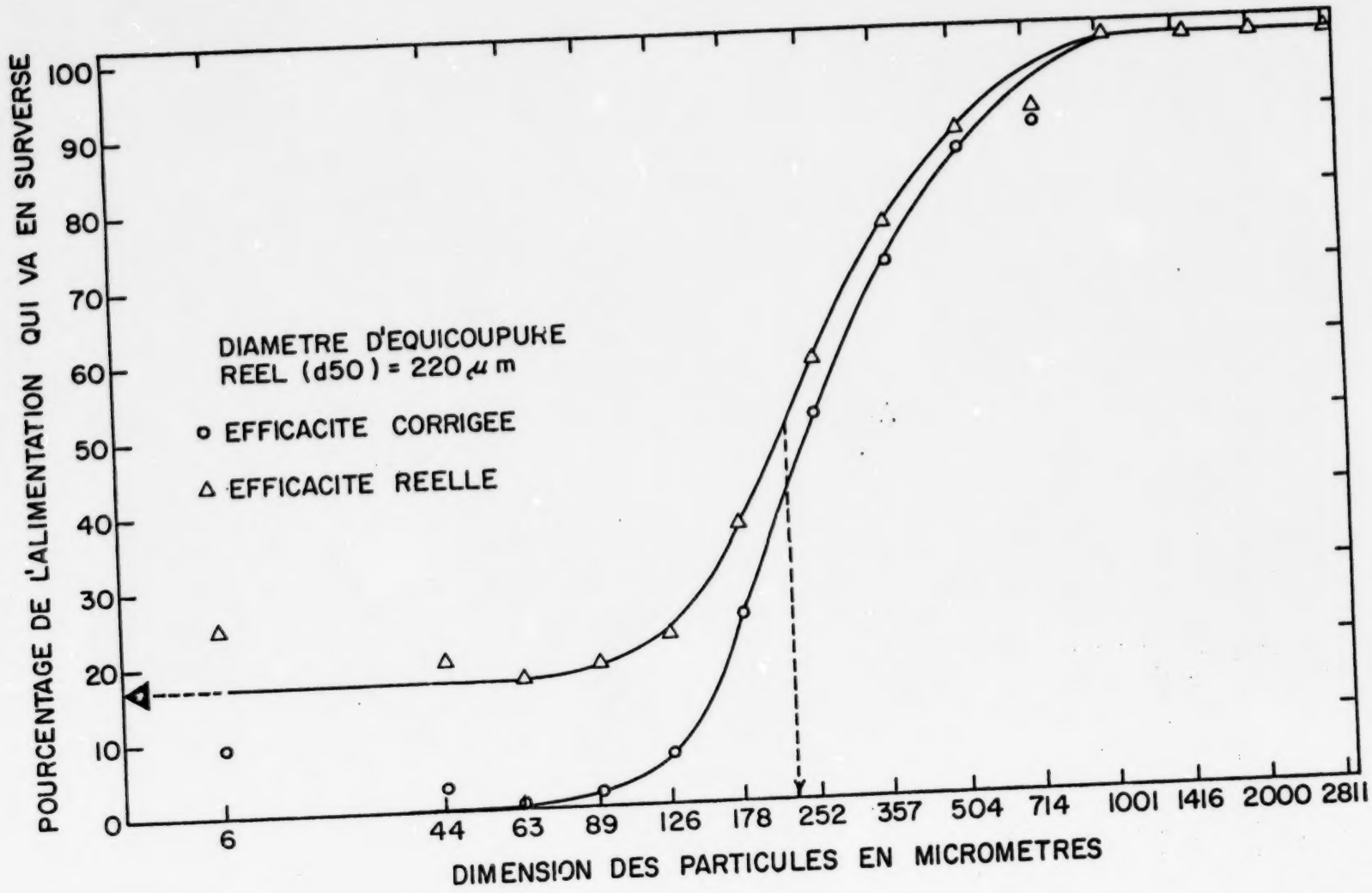


Figure 28 : Courbes d'efficacité pour le second étage de tamis DSM (essai N° 1).

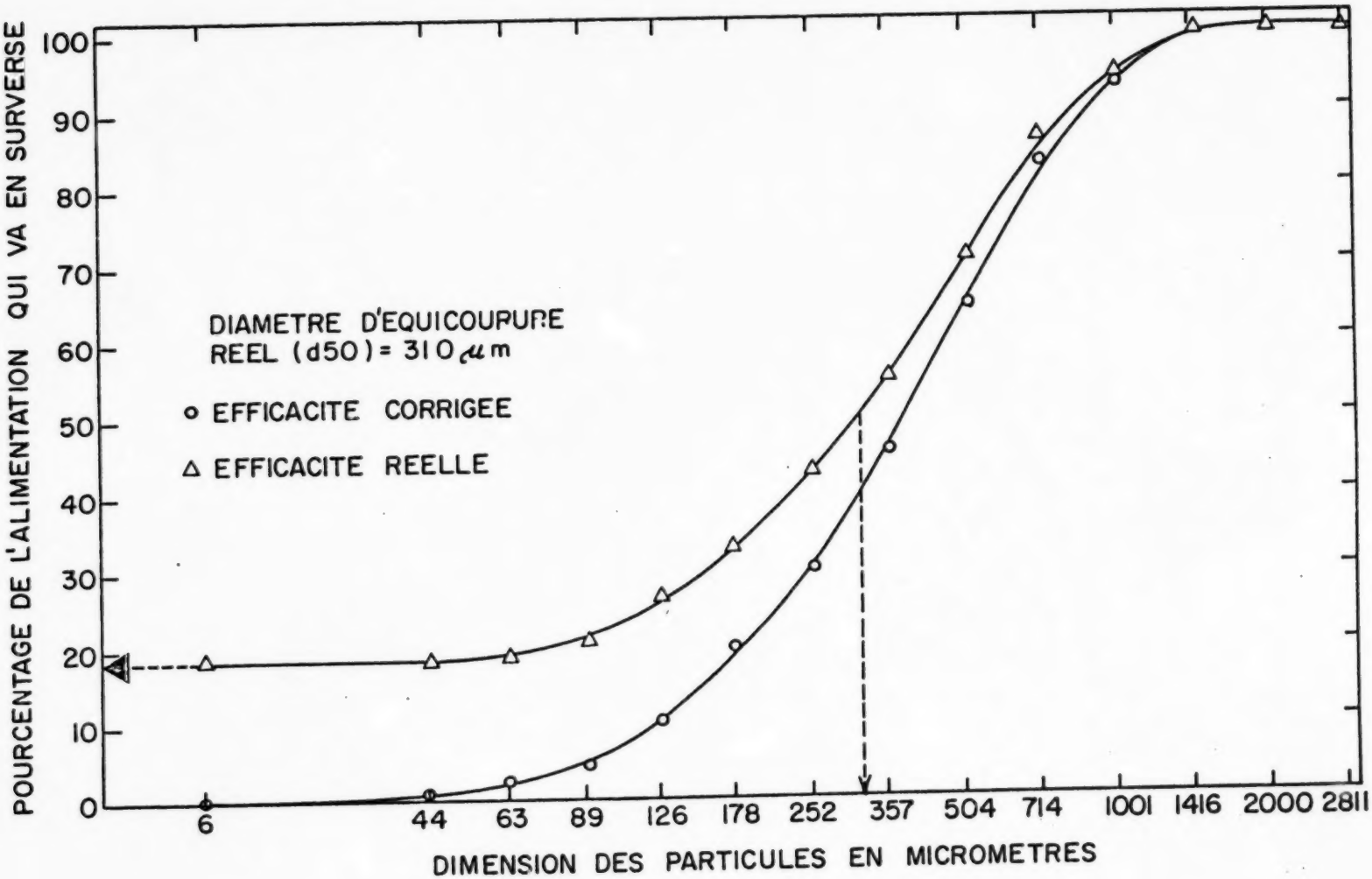


Figure 27 : Courbes d'efficacité pour le premier étage de tamis DSM (essai N° 1).

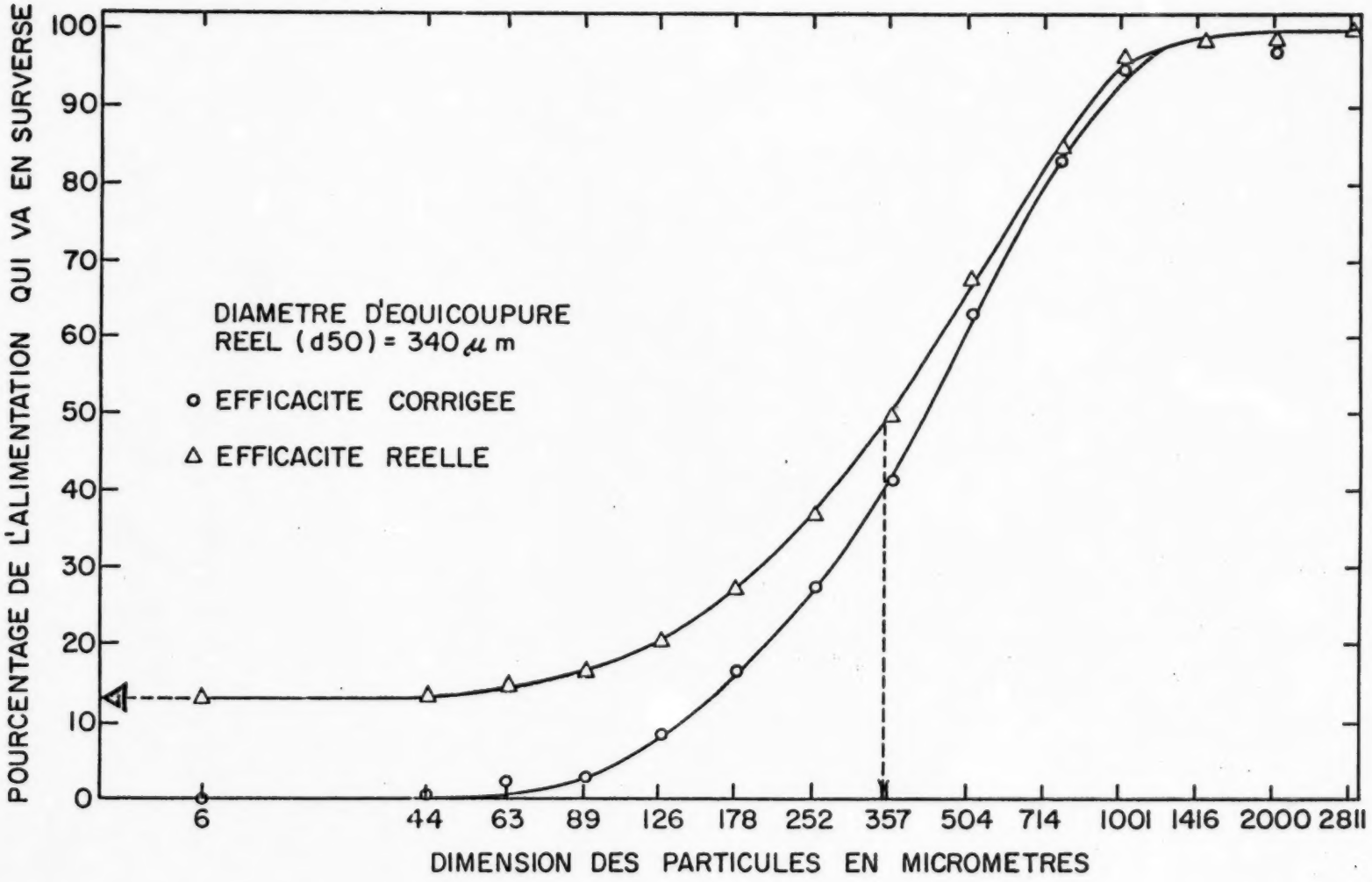


Figure 29 : Courbes d'efficacité pour le premier étage de tamis DSM (essai N^{O} 2).

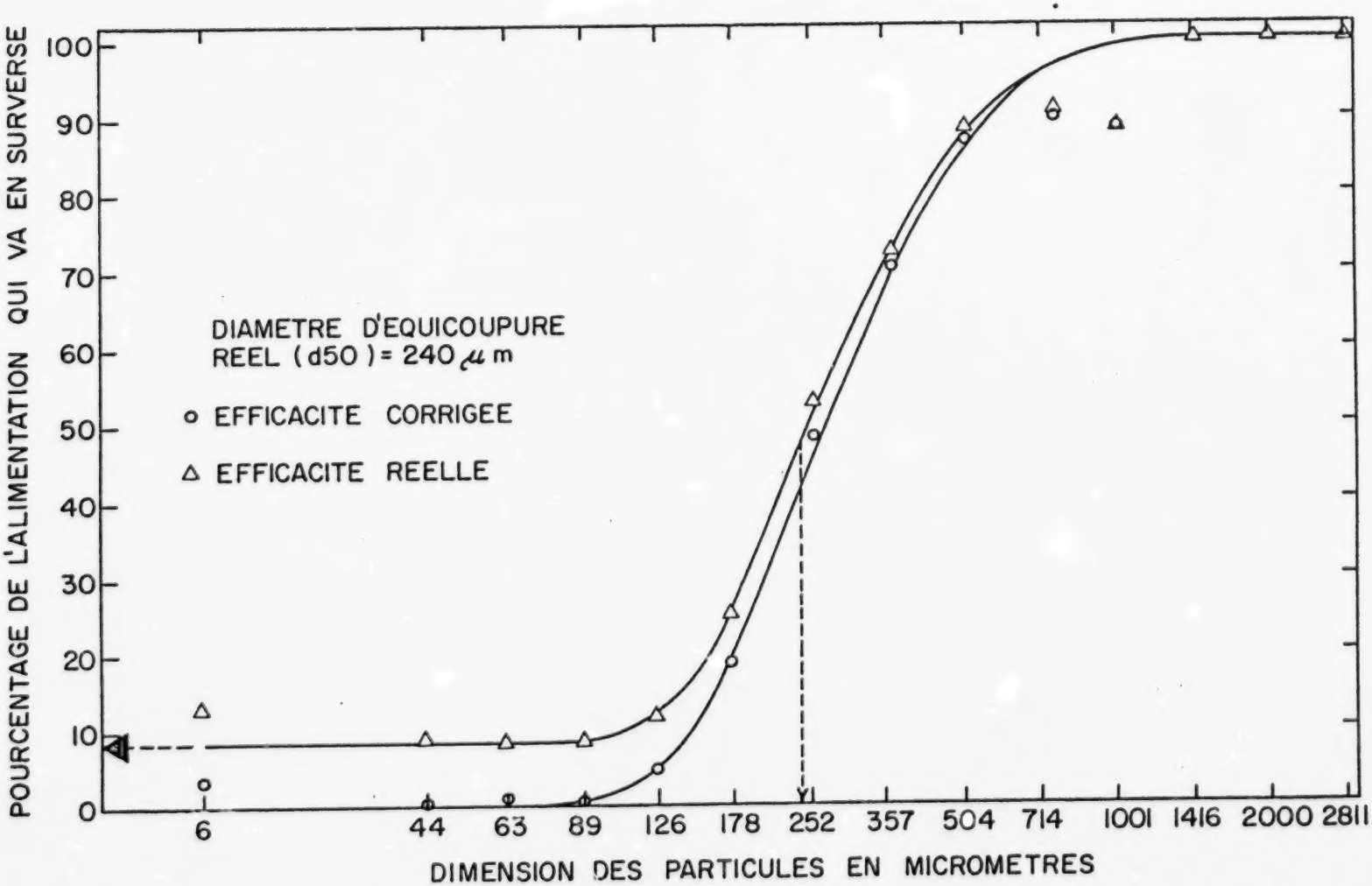


Figure 30 : Courbes d'efficacité pour le second étage de tamis DSM (essai N° 2).

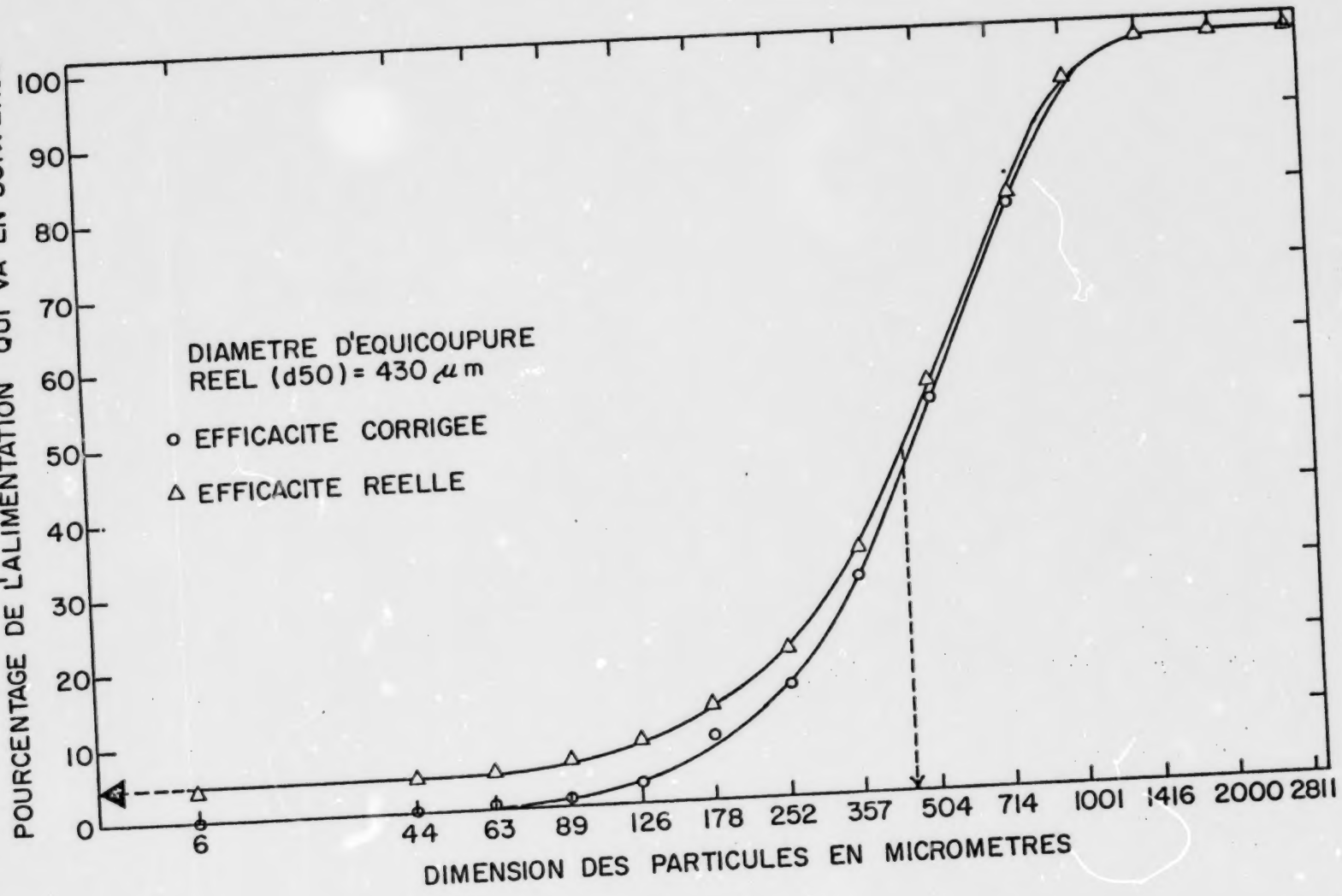


Figure 31 : Courbes d'efficacité pour le premier étage de tamis DSM (essai N° 3)

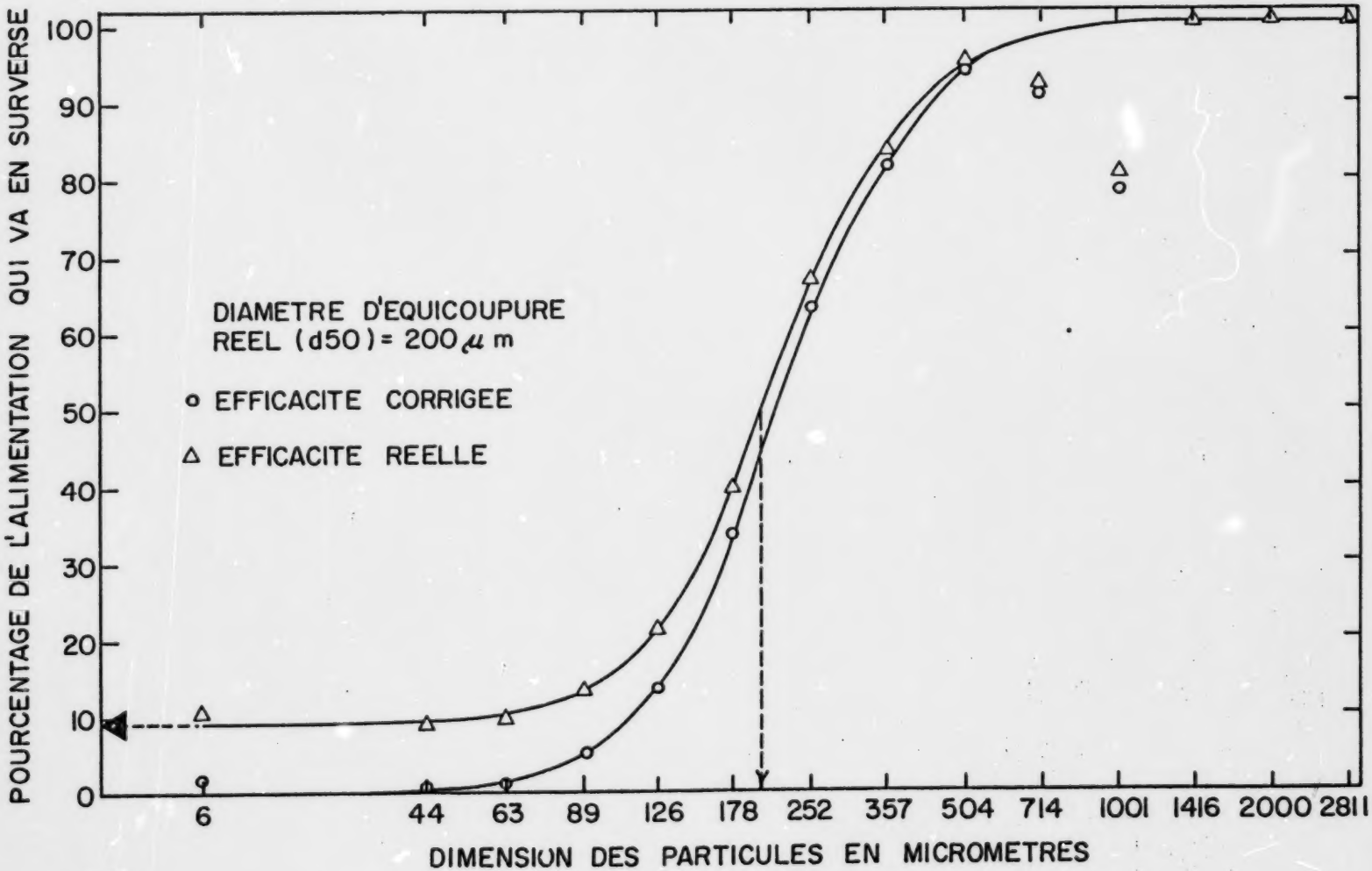


Figure 32 : Courbes d'efficacité pour le second étage de tamis DSM (essai N° 3).

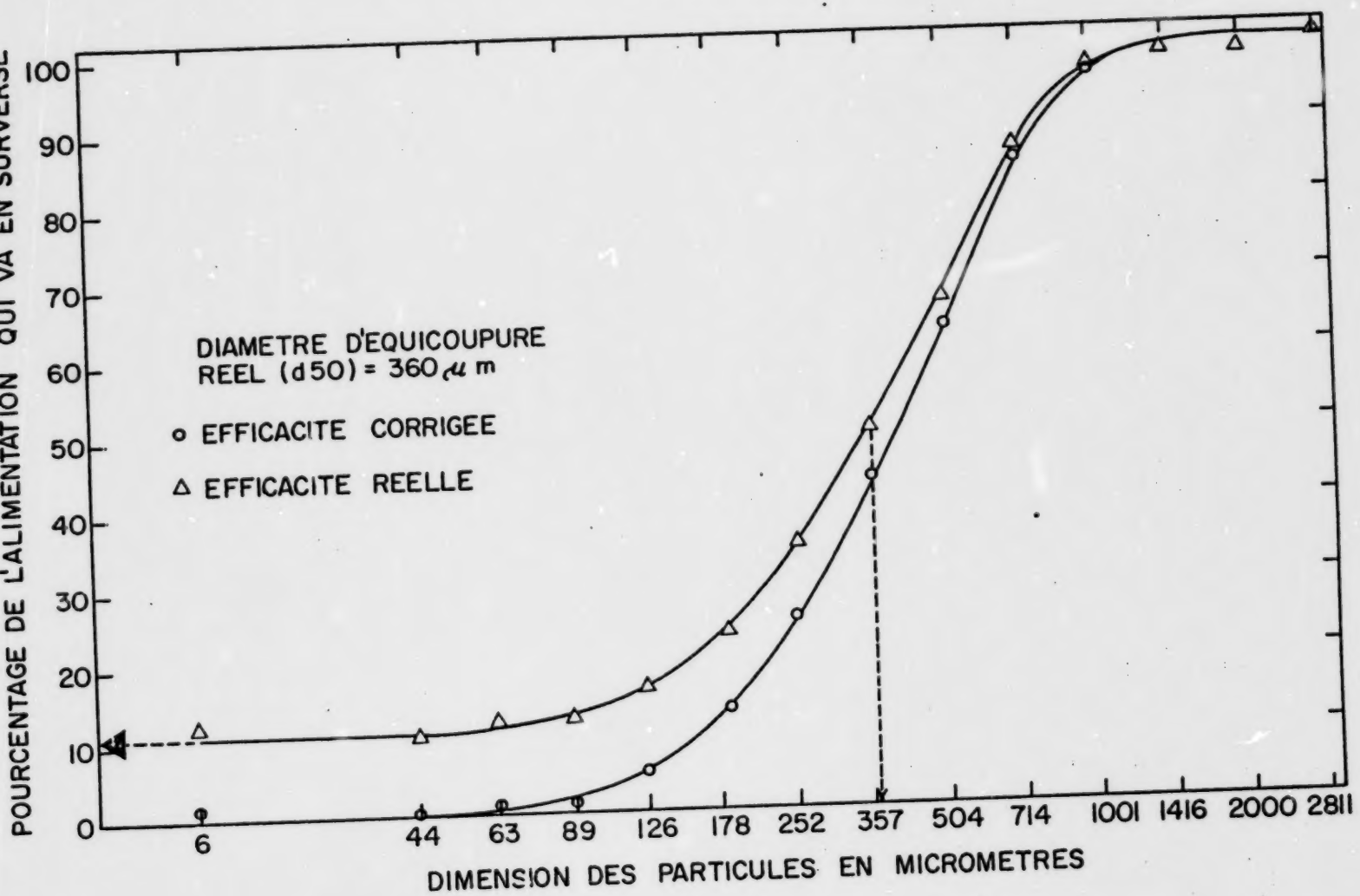


Figure 33 : Courbes d'efficacité pour le premier étage de tamis DSM (essai N° 4).

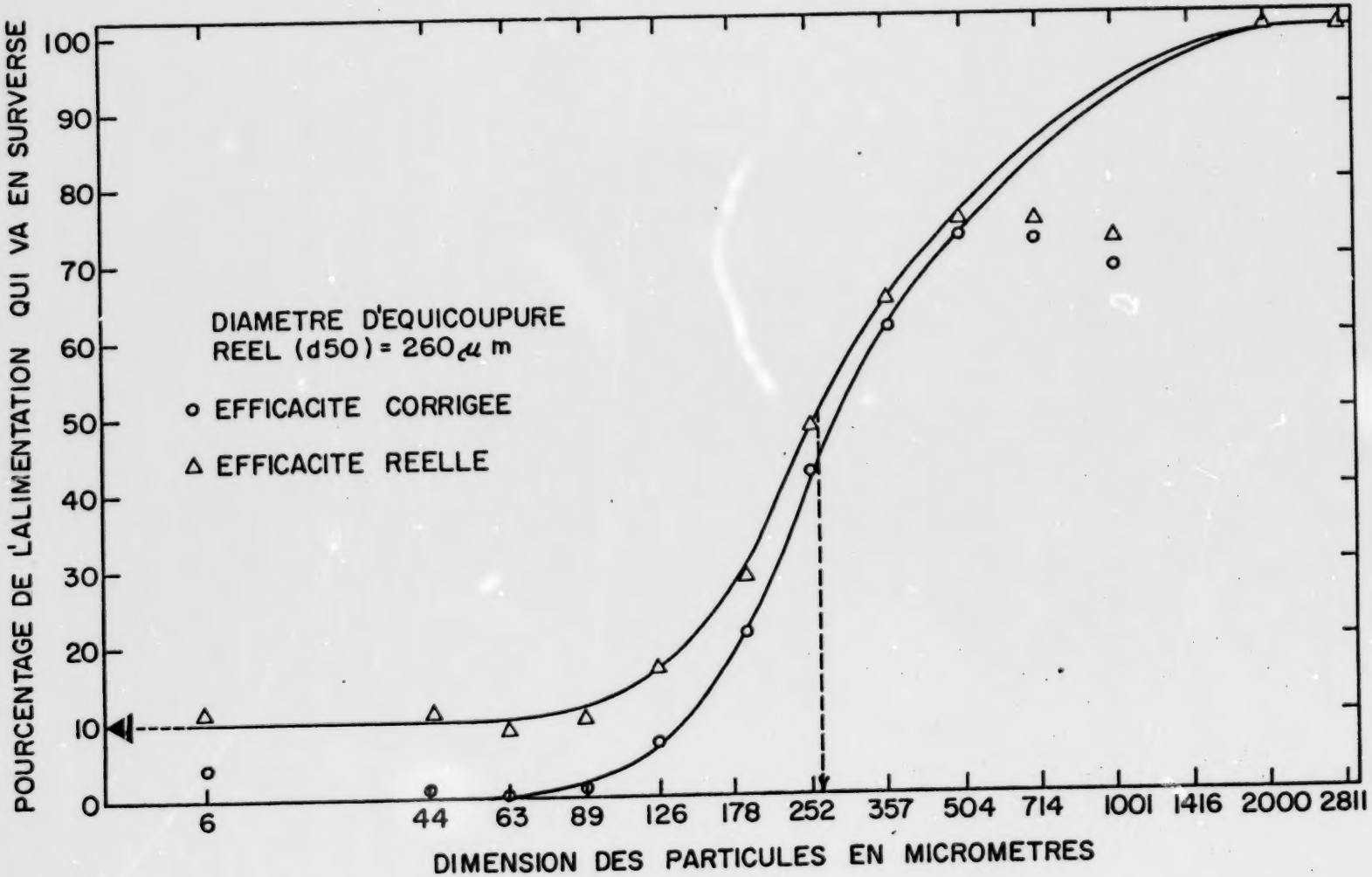


Figure 34 : Courbes d'efficacité pour le second étage de tamis DSM (essai N° 4).

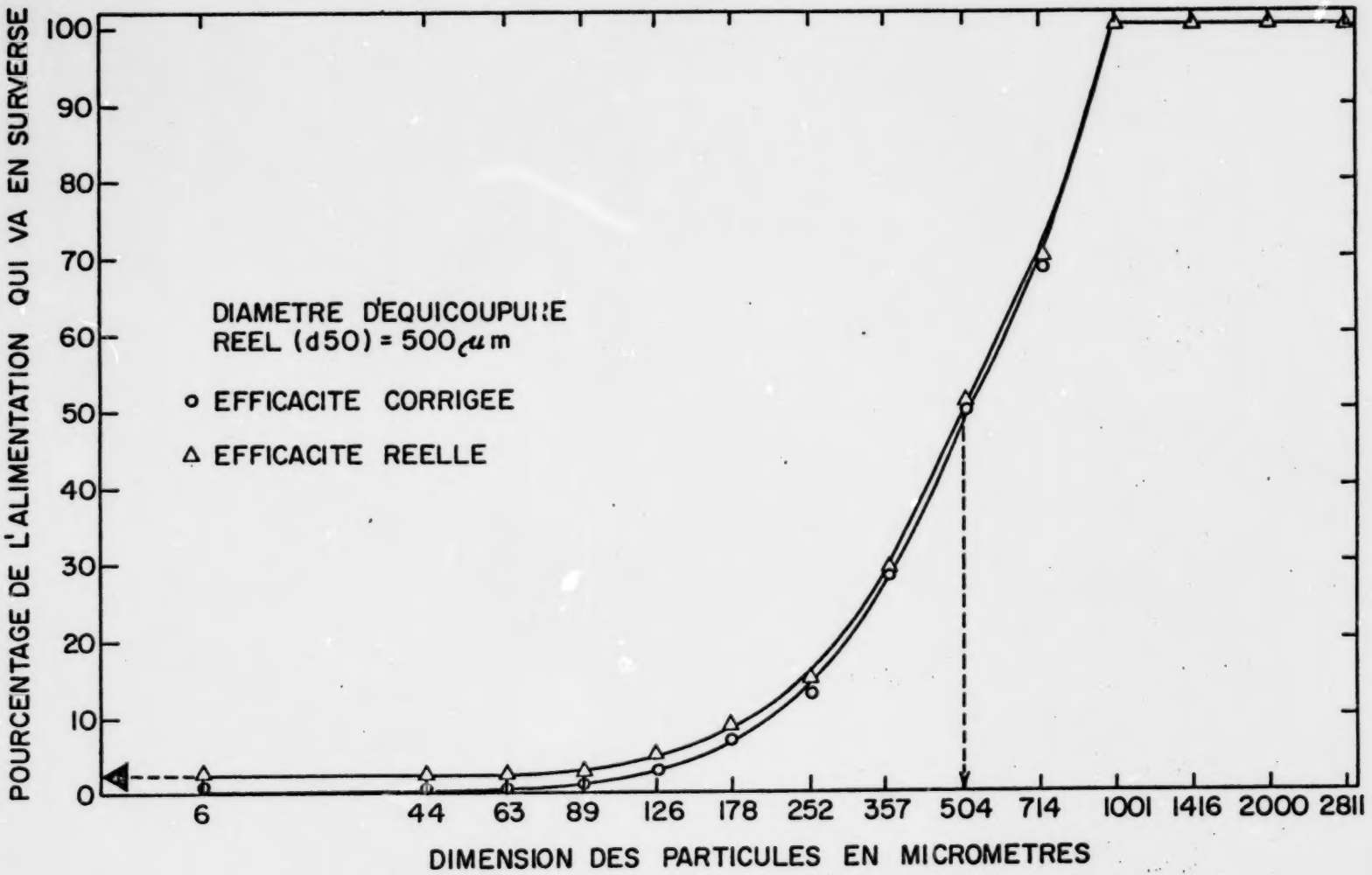


Figure 35 : Courbes d'efficacité pour le premier étage de tamis DSM (essai N° 5).

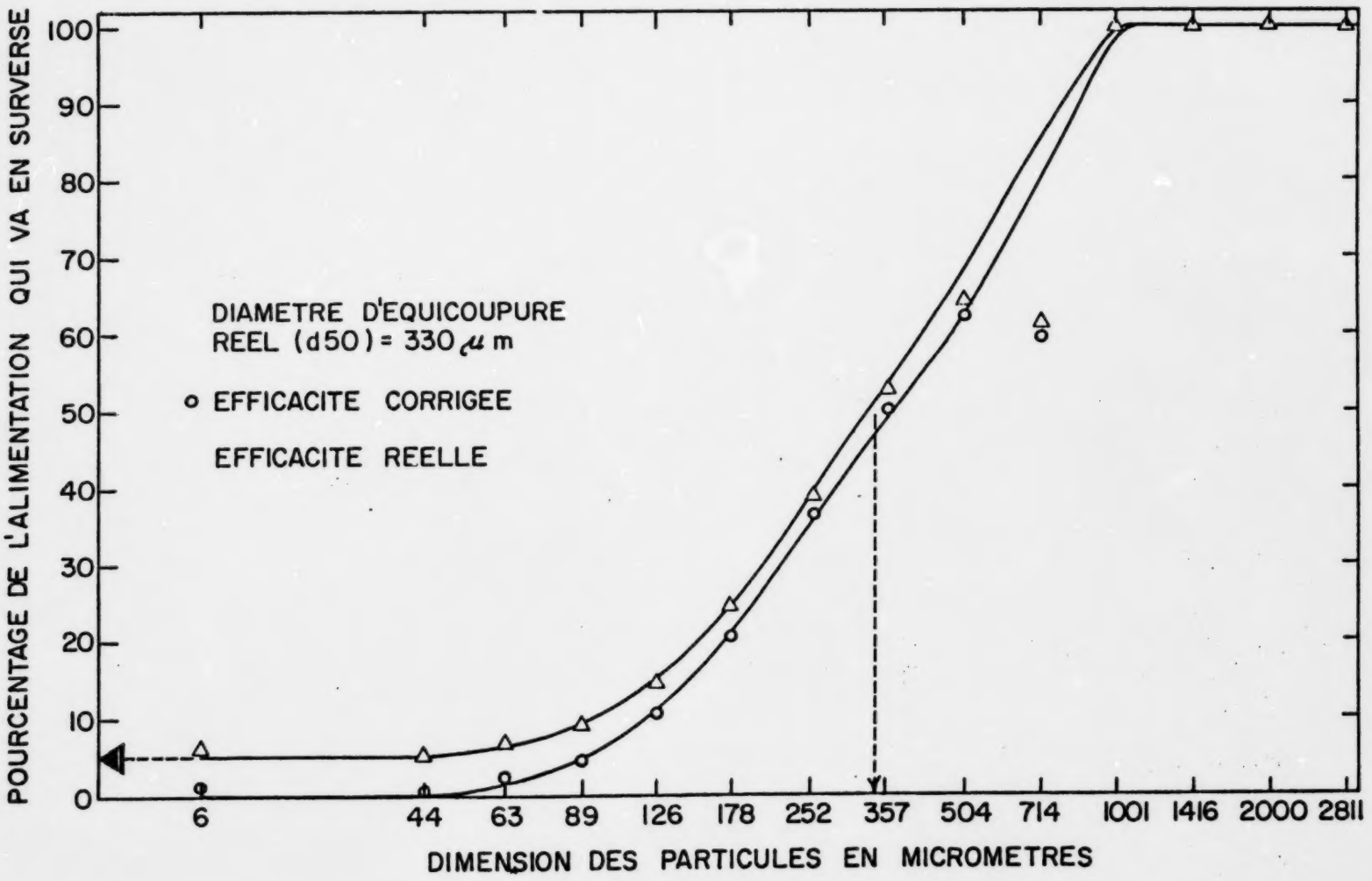


Figure 36 : Courbes d'efficacité pour le second étage de tamis DSM (essai N° 5).